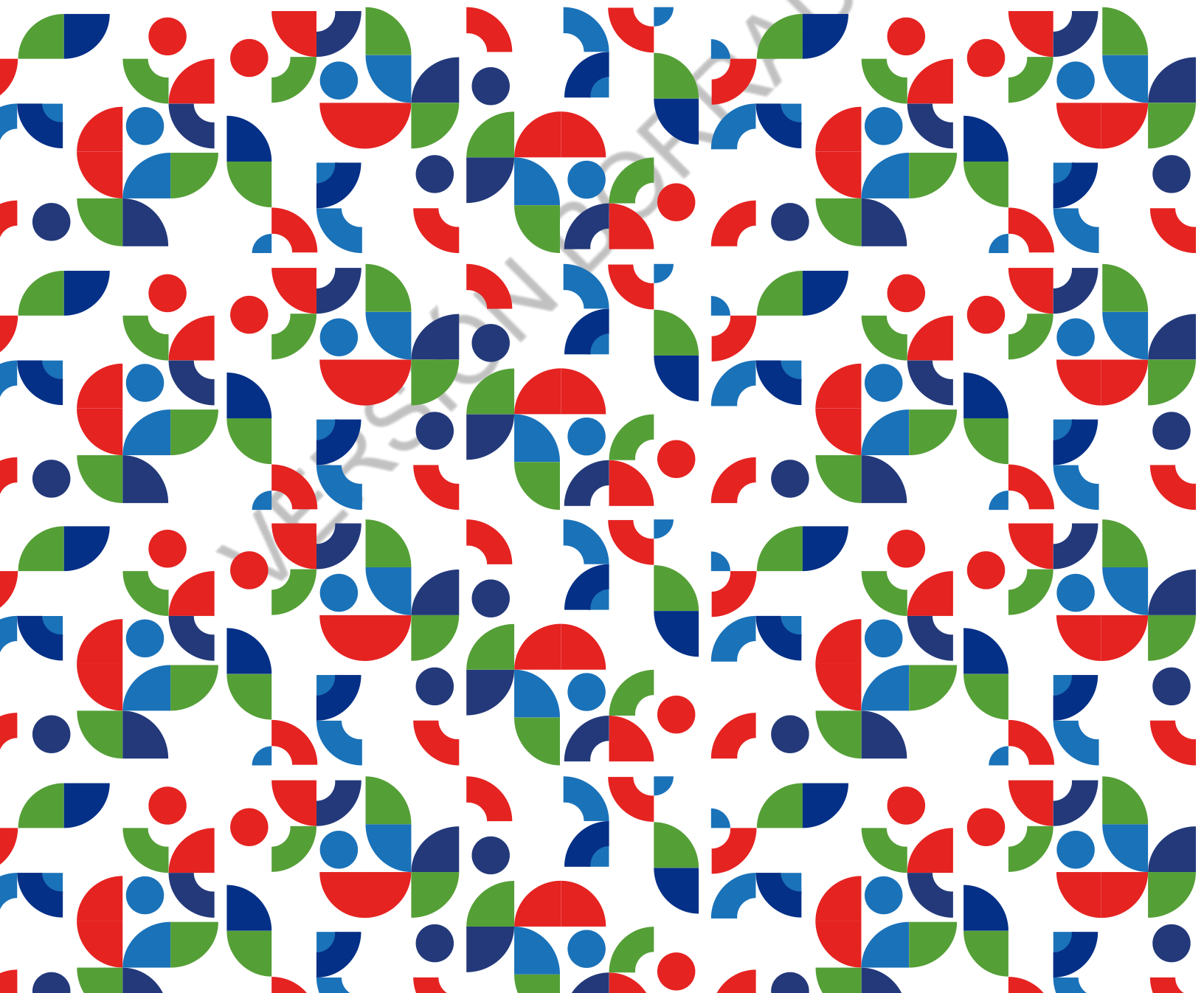
MANUAL DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE DEL DISTRITO DE SANTIAGO DE CALI

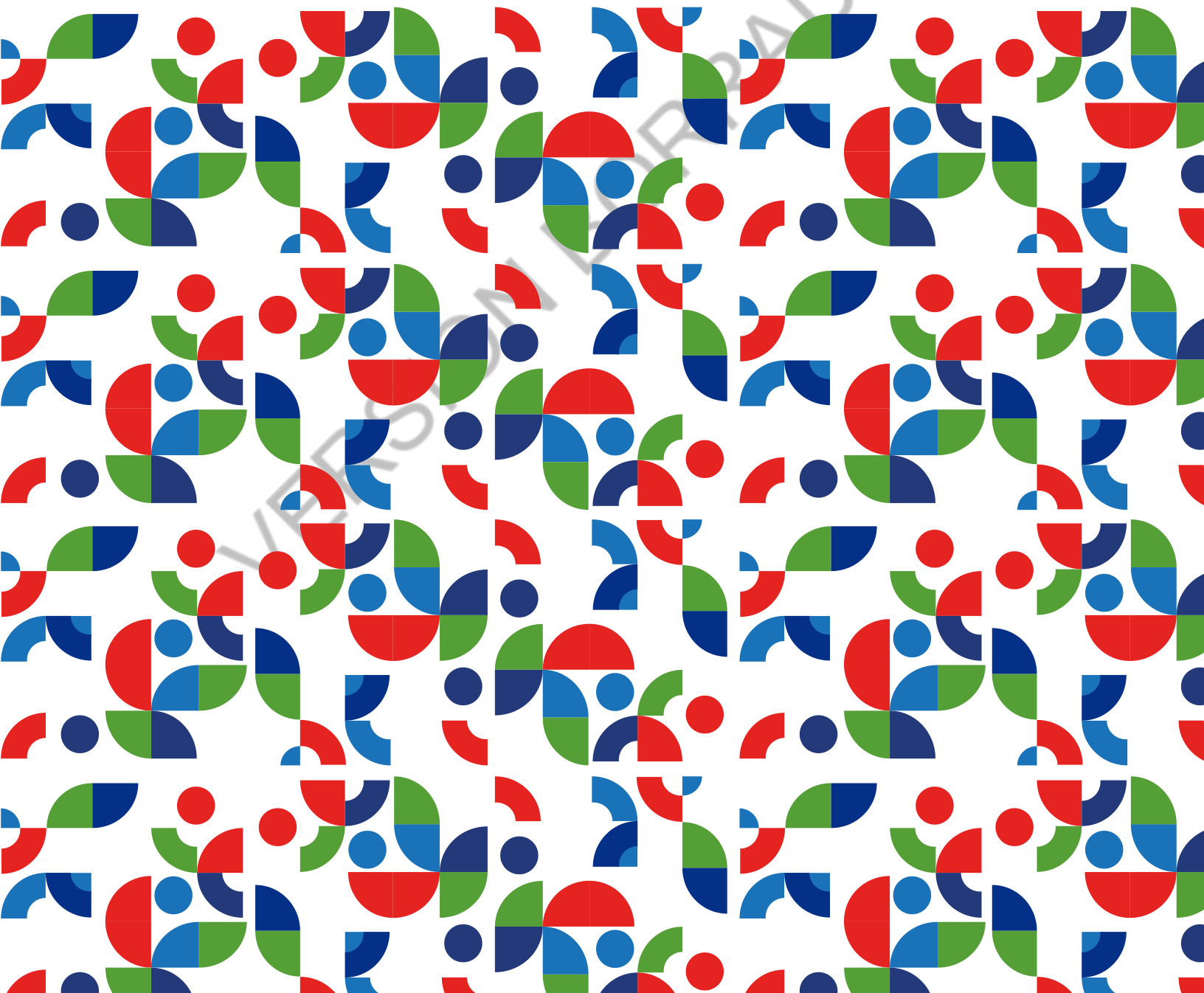
VERSIÓN BORRADOR

Puro Corazón por Cali

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI

Pontificia Universidad JAVERIANA Cali


VERSIÓN BORRADOR


VERSION CORRIGIDOR

VERSIÓN BORRADOR

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE DEL DISTRITO DE SANTIAGO DE CALI

VERSIÓN BORRADOR

Puro Corazón por Cali

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI

Pontificia Universidad JAVERIANA Cali

VERSIÓN BORRADOR

EQUIPO DE TRABAJO

Coordinación general

Iván Osuna Motta,
Arquitecto. MSc.
Docente de la Pontificia Universidad Javeriana Seccional Cali.

Equipo técnico

Julián Fernando Villa Franco.
Arquitecto. MSc.
Walter Giraldo Castañeda.
Arquitecto MSc. PhD.
Docente de la Universidad del Valle.
Aníbal Maury Ramírez.
Ingeniero Civil. MSc. PhD.
Decano Facultad de Ingenieria,
Universidad El Bosque.
Luis Alejandro Valencia Ojeda.
Arquitecto . MSc.
Carlos Mario Giraldo Yepes.
Ingeniero Electrónico MSc.
Andres Felipe Colonia Restrepo.
Arquitecto Paisajista.
Sandra Galarza.
Ingeniera civil. MSc. PhD.
Docente de la Pontificia Universidad Javeriana Seccional Cali.
Jorge Ivan Carmona Ceballos.
Ingeniero Civil.
Elsa Johanna Rincón Laverde.
Ingeniera Industrial. MSc.
Anita Gutiérrez Robledo.
Diseñadora Visual. MSc.
Docente de la Pontificia Universidad Javeriana Seccional Cali.
Stephanie Aya Pastrana.
Arquitecta MSc.
Docente de la Pontificia Universidad Javeriana Seccional Cali.
Luz Marina Morales Vivas.
Arquitecta MSc.
Docente de la Pontificia Universidad Javeriana Seccional Cali.

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI

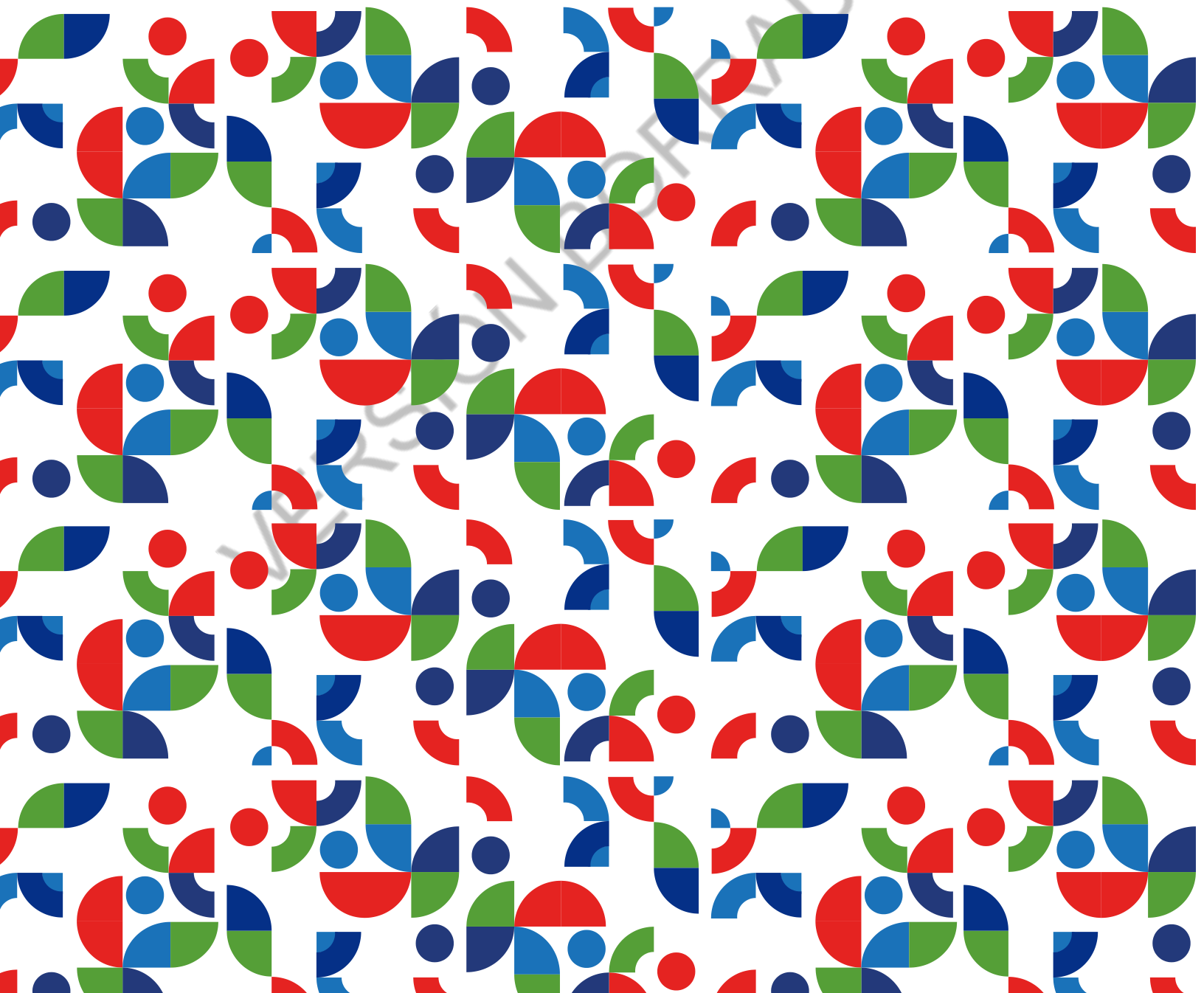
Jorge Iván Ospina Gómez.
Alcalde.

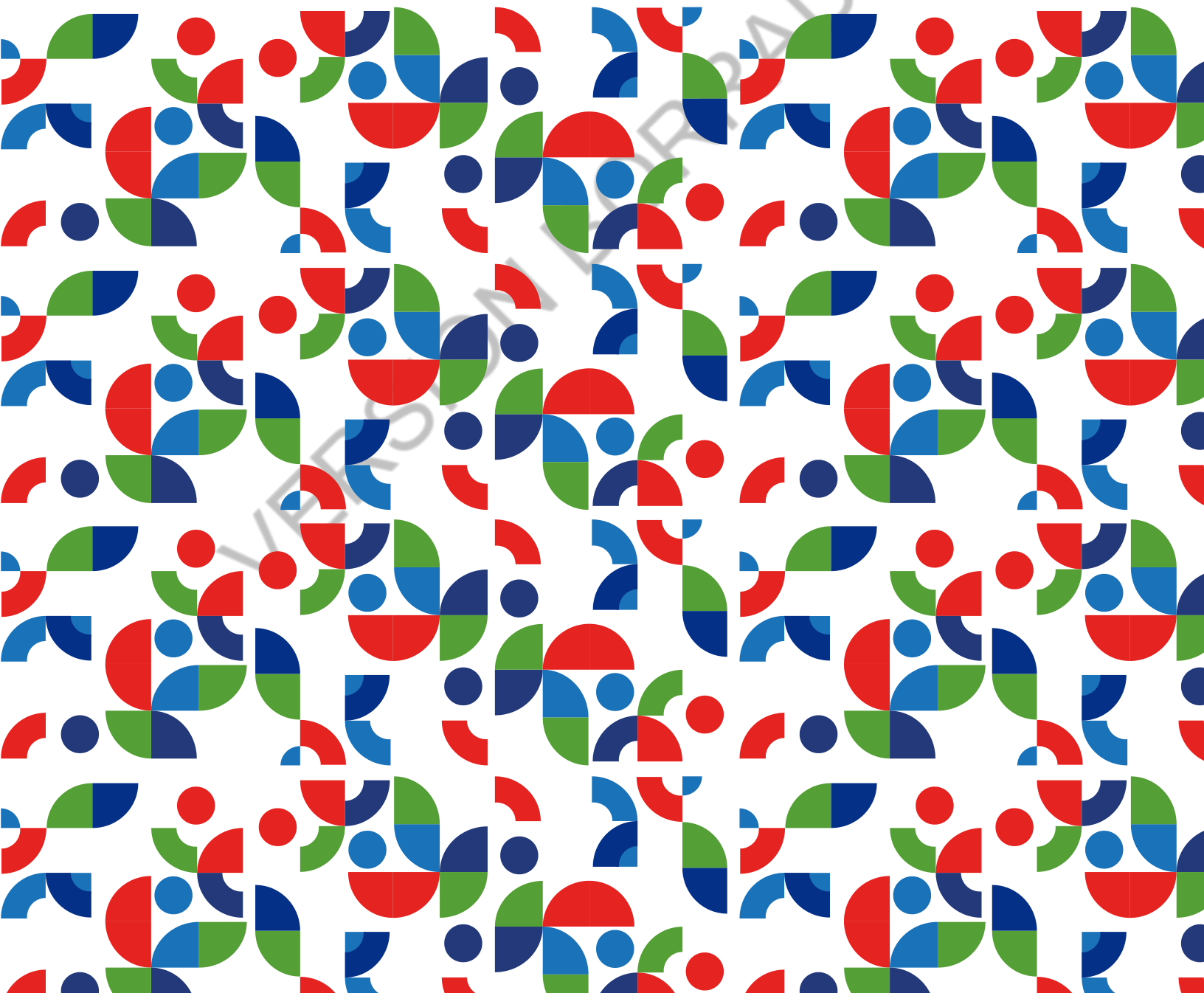
Departamento Administrativo de Planeación Distrital

Roy Alejandro Barreras Cortés.
Director.
Jean Paul Archer Bernal.
Subdirector de Planificación del Territorio.
Susana Cardona Casteblanco.
Coordinadora general componente ambiental.
Johanna Gaitán Álvarez.
Coordinadora general.

Segunda edición - Julio de 2022.

VERSIÓN BORRADOR


VERSIÓN BORRADOR


VERSION CORRIGIDOR

VERSIÓN BORRADOR

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE DEL DISTRITO DE SANTIAGO DE CALI

VERSIÓN BORRADOR

Puro Corazón por Cali

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI

Pontificia Universidad JAVERIANA Cali

VERSIÓN BORRADOR

ÍNDICE DE CONTENIDO

GENERAL

		Pág.
A.	**INTRODUCCIÓN**	14
B.	**METODOLOGÍA**	16
	TOMO I - ESCALA URBANA	19
	– Capítulo 1. Urbanismo Sostenible.	21
	– Capítulo 2. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) – Urbanístico.	61
	TOMO II - ESCALA EDIFICATORIA	181
	– Capítulo 1. Calidad del ambiente interior.	183
	– Capítulo 2. Materialidad sustentable.	243
	– Capítulo 3. Eficiencia y ahorro de agua.	299
	– Capítulo 4. Eficiencia y ahorro de energía.	357
	– Capítulo 5. Infraestructura verde.	405
	– Capítulo 6. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) – Edificatorio.	469
C.	**EVALUACIÓN ECONÓMICA**	494
	REFERENCIAS	575

A.

Introducción

VERSIÓN BORRADOR

En los últimos años todos los países del mundo incluido Colombia se han visto afectados en todas sus dimensiones por las consecuencias del cambio climático. En el 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 (Resolución 70/1 de 2015), que presentó 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS, como plan de acción integral en las dimensiones económica, social y ambiental a favor de las personas y el planeta. En el marco de la Agenda 2030, el Gobierno Nacional ha venido realizando esfuerzos de articulación que ayuden a cumplir e implementar los ODS. Esta acción colectiva requiere que las entidades de orden nacional, gobiernos regionales y territoriales, el sector privado, la academia, y la sociedad civil, se articulen y trabajen de manera conjunta para transformar y promover la sostenibilidad en el territorio nacional.

La sostenibilidad es considerada uno de los pilares fundamentales del Distrito Especial de Santiago de Cali en su modelo de desarrollo urbanístico. Por tal razón, el Manual de Construcción Sostenible y el Sello Cali Construye Sostenible son una herramienta que busca incorporar e impulsar el uso de criterios de sostenibilidad en la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de proyectos urbanos y edificatorios en suelo urbano, suelo de expansión y suelo rural suburbano sujeto a Plan de Ordenamiento Zonal.

Desde la adopción del Plan de Ordenamiento Territorial (Acuerdo 0373 de 2014) se han venido formulando una serie de documentos desarrollados en conjunto por el Departamento Administrativo de Planeación Municipal y el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) que pretenden mejorar la calidad del hábitat en el territorio. Entre ellos se encuentran: el Estudio para la Microzonificación Climática para el Municipio de Santiago de Cali, la Identificación de Zonas y Formulación

de Propuestas para el Tratamiento de Islas de Calor Municipio de Santiago de Cali, la Guía de Buenas Prácticas Ambientales para el Sector de la Construcción y el Documento Técnico Manual de Construcción Sostenible para el Área Urbana de Santiago de Cali. Este último, aprobado por la Resolución DAGMA N° 4133.010.21.0.1529 de 2019, se toma como referencia para la elaboración del presente Manual.

Igualmente, la Resolución 0549 de 2015 es considerada para el desarrollo del Manual de Construcción Sostenible de Cali. Según el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el documento se debe asumir como marco referencial y línea base para definir los criterios mínimos de eficiencia en el ahorro de agua y energía de las edificaciones. Sin embargo, la Resolución plantea la posibilidad que los entes territoriales incrementen los porcentajes de ahorro y establezcan incentivos locales que motiven a cumplir las metas planteadas y solicitan que se haga seguimiento al cumplimiento de las normas.

El Manual de Construcción Sostenible propone otorgar beneficios a los diseñadores y constructores que de manera voluntaria postulen sus proyectos ante la entidad administrativa y demuestren que están realizando acciones dirigidas a la sostenibilidad. Entre algunos beneficios se pueden encontrar el aumento del porcentaje de edificabilidad, incentivos tributarios, agilidad en trámites administrativos y acceso a programas de educación.

No obstante, el Manual de Construcción Sostenible fue desarrollado con un enfoque en los criterios para obtener el Sello Cali Construye Sostenible, y está dirigido a constructores y desarrolladores, este documento también pretende ser un insumo para estudiantes y profesionales que pertenezcan a áreas afines a la construcción y que estén interesados en contribuir al desarrollo sostenible, mejorando continuamente sus prácticas de diseño y construcción.

VERSIÓN BORRADOR

B.

Metodología

VERSIÓN BORRADOR

Para el desarrollo del Manual de Construcción Sostenible y el Sello Cali Construye Sostenible, se toma como referencia principal lo dispuesto en el Plan de Ordenamiento Territorial – POT (Acuerdo 0373 de 2014) que establece en el Artículo 106 – Construcción Sostenible, la formulación de un manual que defina las estrategias, líneas de acción e instrumentos a desarrollar en los siguientes aspectos: a) ahorro de energía y uso de energías alternativas; b) ahorro de agua, reutilización de aguas, tratamiento de aguas residuales y aprovechamiento de aguas lluvias y/o aguas condensadas; c) uso de materiales reciclables en la construcción; d) adaptación climática y; e) protección de la biota y emplazamiento de coberturas vegetales en la construcción.

Además, se hace referencia a la Resolución Nacional 0549 de 2015 que señala una lista de acciones mínimas para la reducción del consumo de agua y energía en edificaciones nueva como son: eficiencia energética, eficiencia en agua, materiales de construcción de baja energía embebida, calidad del ambiente interior, sostenibilidad del emplazamiento, edificaciones y entorno exterior y sostenibilidad urbana.

Igualmente se estudiaron diferentes certificaciones internacionales que ayudaron a definir la mejor estrategia para la construcción del Manual y el Sello, entre ellas se encuentran la Certificación LEED, el Sello Casa Azul + CAIXA de Brasil, el Green Mark Buildings – BCA de Singapur y el Minergie Standard de Suiza. A partir de este estudio de casos se determina que, a las acciones y estrategias relacionadas con temas de salud, confort, recursos naturales y costo económico, se les va a otorgar un puntaje que responde a su impacto en la sostenibilidad del medio construido.

De tal manera, para asignar el puntaje a las estrategias escogidas se desarrollaron las siguientes acciones:

- Se definen las estrategias a partir de las listadas en el Artículo 106 del POT y la Resolución 0549 de 2015 para realizar una matriz, en la que **se cruzaron las acciones de construcción sostenible con su posible impacto en la sostenibilidad.**

- El equipo técnico definió tres niveles de aporte a la sostenibilidad y asignó un valor numérico: **aporte directo** (2 puntos), **aporte indirecto** (1 punto) y **sin aporte** (0 puntos).

- Asimismo, se realizó una evaluación económica para conocer el costo directo de implementar cada una de las acciones. A partir de los resultados, se asignó una ponderación si tenían un **costo alto, medio o bajo.**

- A continuación, se sumaron los puntos de cada estrategia y se agruparon las acciones en cuartiles. Se le asignaron un puntaje entre **1 (menor costo – beneficio) y 4 (mayor costo – beneficio)** y se categorizan de acuerdo a esto.

- Se concluye que **se deben privilegiar las acciones que tengan un alto aporte a la sostenibilidad** pero que su aplicación tenga un costo nulo o muy bajo.

Posteriormente, el equipo técnico se referencia en la metodología aplicada por la Resolución 0549 de 2015, en la que se realiza un análisis de sensibilidad para determinar si las acciones sugeridas a diseñadores y constructores podrían alcanzar los porcentajes de ahorro de agua y energía esperado. Así es que se toma un modelo de un edificio dispuesto en la Resolución para evaluar el desempeño de los aspectos de confort, iluminación natural, ventilación cruzada, ruido, entre otros. Este estudio precisa cuáles acciones son más efectivas en términos de costo directo de obra, ahorro de energía y ahorro de agua esperado. De esta forma se le asigna el puntaje a las acciones de acuerdo a su relación costo – beneficio.

El Manual de Construcción Sostenible de Cali se organiza en diferentes partes de acuerdo a la escala de intervención. La primera parte, se nombre **Tomo 1 – Escala Urbana,** que propone los criterios a implementar por el Sello Cali Construye Sostenible en las estrategias de Urbanismo Sostenible y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – Urbanístico. El documento continúa con el **Tomo 2 – Escala Edificatoria,** que presenta los criterios de Calidad del Ambiente Interior, Materiales Sustentables, Eficiencia y ahorro de agua, Eficiencia y ahorro de energía, Infraestructura Verde y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – Edificatorio. Igualmente, se incluyen en el documento las secciones de Evaluación Económica y el capítulo de Incentivos que desarrollan el componente económico del Manual.

Una vez se determinaron las acciones e incentivos del Manual de Construcción Sostenible y el Sello Cali Construye Sostenible, se realizó el proceso de socialización y mesas de trabajo con los diferentes actores públicos y privados involucrados. Entre ellos se encuentran la Secretaría de Educación, la Secretaria de Vivienda, el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente – DAGMA, la Sociedad Colombiana de Arquitectos – SCA, la Cámara Colombiana de Construcción – Camacol y universidades de la ciudad de Santiago de Cali.

Igualmente, se vinculó al proceso, el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS, la Corporación Financiera Internacional – IFC y el Proyecto fortaleciendo capacidades para la Eficiencia Energética en edificios en América Latina – CEELA.

VERSIÓN BORRADOR

VERSIÓN BORRADOR

TOMO I

ESCALA URBANA

Capítulo 1. *Urbanismo Sostenible.*
Capítulo 2. *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) – Urbanístico.*

VERSIÓN BORRADOR

Urbanismo Sostenible

TOMO I | Capítulo 1

ÍNDICE DE CONTENIDO

TOMO I | Capítulo 1

		Pág.
A.	**CONTEXTO.**	25
	Objetivos de desarrollo sostenible (ODS). **Implementación urbanismo sostenible en Santiago de Cali.** - Componentes.	
1.1.	**ESTRATEGIAS PLANIFICACIÓN Y URBANISMO SOSTENIBLE.**	33
	US.1. ACCIONES PARA LA CONSERVACIÓN. US.1.1. Afectaciones ambientales. US.1.2. Plan de manejo y fauna silvestre.	34
	US.2. EDIFICIACIÓN. US.2.1. Proyecto ubicado en suelo urbano. US.2.2. Reducción índice de ocupación. US.2.3. Aprovechamiento del índice de construcción máximo permitido. US.2.4. Edificación para usos mixtos. US.2.5. Reciclaje / reuso de edificación existente.	36

Pág.

US.3. VERDE URBANO. US.3.1. Consolidación de bosques urbanos. US.3.2. Espacio público con superficies vegetadas. US.3.3. Plan de coberturas vegetadas.	41
US.4. SOCIAL US.4.1. Acceso a equipamientos colectivos. US.4.2. Vinculación social al proyecto. US.4.3. Vinculación laboral de personas residentes en el entorno.	44
US.5. MOVILIDAD US.5.1. Acceso al sistema de transporte público. US.5.2. Parqueaderos compactos. US.5.3. Ciclo parqueaderos adicionales.	47
US.6. ENERGÍA US.6.1. Alumbrado público de bajo consumo energético y eficiente calidad/cantidad de luz. US.6.2. Implementación o consumo energético de distritos térmicos.	49
US.7. MATERIALES US.7.1. Reemplazo de agregados naturales por reciclados y uso de cementantes suplementarios. US.7.2. Materiales de baja energía embebida y bajas huella hídrica y carbono. US.7.3. Funciones autonómicas para purificación del aire, autolimpieza y autoreparación. US.7.4. Minimizar superficies impermeables en edificación y contexto. US.7.5. Minimizar superficies absorbentes de radiación solar.	51
US.8. CONSTRUCCIÓN. US.8.1. Entrenamiento operarios manejo eficiente de maquinaria. US.8.2. Control de emisiones en tubos de escape de los equipos. US.8.3. Renovación de motores de maquinaria y vehículos utilizados. US.8.4. Empleo de biodiesel o combustibles de bajo índice de contaminación. US.8.5. Limpieza de vehículos a la salida de obra. US.8.6. Concepto ambiental de la obra.	55

VERSIÓN BORRADOR

A.

Contexto

VERSIÓN BORRADOR

La ocupación del territorio determina en gran medida las condiciones de sostenibilidad del mismo, por tanto, se debe garantizar. La capacidad de acogida del territorio se define como las condiciones físicas del suelo para soportar el desarrollo de infraestructuras y edificaciones urbanas. En esta medida, la capacidad de acogida del territorio busca, mediante la aplicación de unos factores físicos condicionantes y bióticos a preservar, la mejor manera de implantar los nuevos asentamientos urbanos. Con la aplicación de dichos factores en los procesos de urbanización se puede prevenir y mitigar, en gran medida, los riesgos de desastre por inundaciones, movimientos del terreno y sismos, entre otros. (Rúa Rodríguez, 2014, pág. 46).

La norma nacional e internacional es nutrida en relación a la importancia de implementar estrategias para un urbanismo que presente un mejor desempeño ambiental, generando un menor impacto, una huella ecológica consciente y la adaptación y mitigación del cambio climático.

A continuación, se presenta normativa y documentos referenciales que direccionan la elaboración del documento.

Objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

Objetivo 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles

Las metas que presenta el Objetivo 11 para el Desarrollo Sostenible y que se presentan a continuación, se convierten en metas prioritarias para el Manual de Construcción Sostenible del Distrito de Santiago de Cali.

- Asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales.
- Proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad.
- Aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.
- Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo.
- Reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
- Reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.
- Proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad.

VERSIÓN BORRADOR

- Apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional.
- Aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes. integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.
- Proporcionar apoyo a los países menos adelantados, incluso mediante asistencia financiera y técnica, para que puedan construir edificios sostenibles y resilientes utilizando materiales locales.
- Adicionalmente, se reconocen documentos de carácter nacional y local que aportan en la consolidación de un territorio sostenible:

NACIONAL:

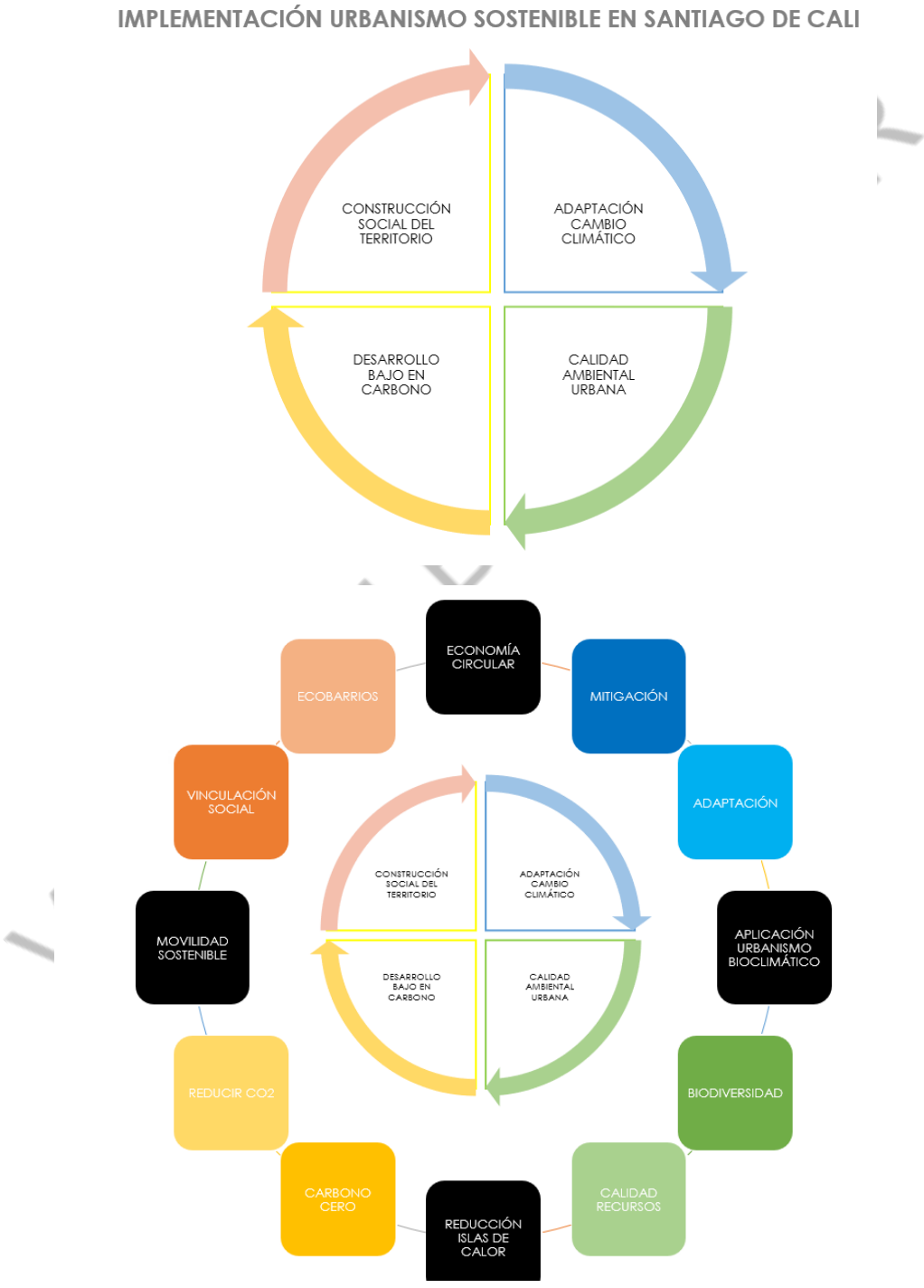
- Guía de la construcción sostenible para el ahorro de agua y energía. Minvivienda.
- Consideraciones de cambio climático para el ordenamiento territorial. Minambiente.
- Índice de calidad ambiental urbana. Minambiente.
- Neto cero carbono. CCCS.
- Sello ambiental Colombiano — construcción.

MUNICIPAL:

- Plan de ordenamiento territorial - Acuerdo 373 de 2014.
- Plan integral de mitigación y adaptación al cambio climático. CVC + CIAT + DAGMA + Alcaldía de Santiago de Cali.
- Identificación de zonas y formulación de propuestas para el tratamiento de islas de calor. CVC + CIAT + DAGMA + Alcaldía de Santiago de Cali.
- Transformación urbana en ecobarrios. CVC + CIAT + DAGMA + Alcaldía de Santiago de Cali + Univalle.
- Estrategia municipal de desarrollo bajo en carbono para Cali. CVC + CIAT + DAGMA + Alcaldía de Santiago de Cali

VERSIÓN BORRADOR

Implementación urbanismo sostenible en Santiago de Cali



Componentes

Carbono cero

Descripción

La "neutralidad de carbono es un concepto más amplio que involucra una mezcla entre la implementación de acciones dirigidas para reducir sus emisiones GEI o aumentar sus remociones y la compensación de las emisiones residuales, tomando la compensación como una segunda opción del sujeto para lograr un resultado neto de cero (0) en las emisiones GEI." (https://www.icontec.org/eval_conformidad/certificacion-de-carbono-neutro/).

1. CALIDAD AMBIENTAL URBANA

Biodiversidad

Descripción

Una de las definiciones más completas de biodiversidad es la que ofrece el Convenio de Diversidad Biológica. Allí se entiende como "el término por el que se hace referencia a la amplia variedad de seres vivos sobre la tierra y los patrones naturales que conforman, resultado de miles de millones de años de evolución según procesos naturales y también de la influencia creciente de las actividades del ser humano". Además, dentro de la misma definición, se indica que la biodiversidad comprende igualmente "la variedad de ecosistemas y las diferencias genéticas dentro de cada especie (diversidad genética) que permiten la combinación de múltiples formas de vida, y cuyas mutuas interacciones con el resto del entorno fundamentan el sustento de la vida sobre el mundo".

Pero, ¿Qué quiere decir esto? En resumidas cuentas, la biodiversidad indica la variedad de vida en la tierra, lograda a través de procesos naturales como la selección natural y analizada en tres ámbitos específicos: genes, especies y ecosistemas. Estos últimos dan el nombre a los diferentes ejes que miden la biodiversidad actualmente. (https://www.wwf.org.co/?uNewsID=328100)

Siendo la de especial interés para el desarrollo del manual la diversidad de ecosistemas: es la variedad de las posibles relaciones entre especies que habitan en una misma región, como también de la relación con el hábitat que las rodea.

Aplicación

Reconocimiento y protección de suelos que conforman el sistema ambiental del distrito.

- Suelos de protección por amenazas y riesgos no mitigables.
- Zonas de amenaza y riesgos mitigables
- Estructura ecológica principal — suelos de protección
- Estructura ecológica complementaria.

Calidad de los recursos

Descripción

La contaminación ambiental se presenta como la alteración física, química y biológica que un medio o un territorio pueden sufrir por la dinámica que desarrollan medios naturales y/o antrópicos.

El control de la contaminación en Colombia comienza con la generación de datos e información.

VERSIÓN BORRADOR

La caracterización de la calidad ambiental que es su equivalente, constituye uno de los más importantes procesos de desarrollo de información orientados a un amplio margen de tomadores de decisiones que van desde el ciudadano del común que busca optimizar sus medios de vida, hasta los altos funcionarios del Estado que deben tomar decisiones de política pública relacionada con grandes grupos poblacionales, especialmente los que habitan las zonas urbanas. (http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental)

Aplicación

Vinculación con el Índice de Calidad Ambiental Urbana del IDEAM donde se registran las siguientes variables:

- Agua
- Aire
- Biodiversidad
- Cambio Climático
- Ozono
- Residuos
- Suelo
- Clima
- Calidad urbana

2. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Adaptación

Descripción

Son las acciones y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados del cambio climático.

El Cambio Climático se considera hoy como la mayor amenaza del planeta, así ha quedado establecido en los informes del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), quienes desde 1998 vienen mostrando importantes evidencias científicas, que demuestran que las altas emisiones de Gases Efecto Invernadero GEI, generan como consecuencia un cambio en el clima, lo que aumenta la vulnerabilidad, entendida como el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y en particular la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. Colombia, y en general Latinoamérica y el Caribe, tienen una baja participación en emisiones de GEI, sin embargo, presentan una alta vulnerabilidad a los efectos del cambio climático debido a las características geográficas, ecológicas y socioeconómicas de sus países, razón que los obliga a adaptarse como una respuesta, a los efectos del clima sobre sus territorios. (https://www.minambiente.gov.co/index.php/plan-nacional-de-adaptacion-al-cambio-climatico-pnacc).

Aplicación

Articulación con el Plan Integral de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático del Distrito.

3. DESARROLLO BAJO EN CARBONO

Carbono cero

Descripción

La "neutralidad de carbono es un concepto más amplio que involucra una mezcla entre la implementación de acciones dirigidas para reducir sus emisiones GEI o aumentar sus remociones y la compensación de las emisiones residuales, tomando la compensación como una segunda opción del sujeto para lograr un resultado neto de cero (0) en las emisiones GEI." (https://www.icontec.org/eval_conformidad/certificacion-de-carbono-neutro/).

VERSIÓN BORRADOR

Aplicación

Tiene aplicación en todo el distrito, ya que está articulada con la Estrategia Municipal de Desarrollo Bajo en Carbono para Cali.

Reducción CO_2

Descripción

Los actuales niveles de CO2 como se evidencia en la Ilustración 1. CO2 en la atmósfera. Cris Barredo/ Latitud 42 (https://www.wearewater.org/es/reducir-las-emisiones-de-co2-principal-objetivo-planetario_273571) requiere la acción de todos los sectores productivos, incluido el de la construcción.

Aplicación

Tiene aplicación en todo el distrito, esta acción está articulada con la Estrategia Municipal de Desarrollo Bajo en Carbono para Cali.

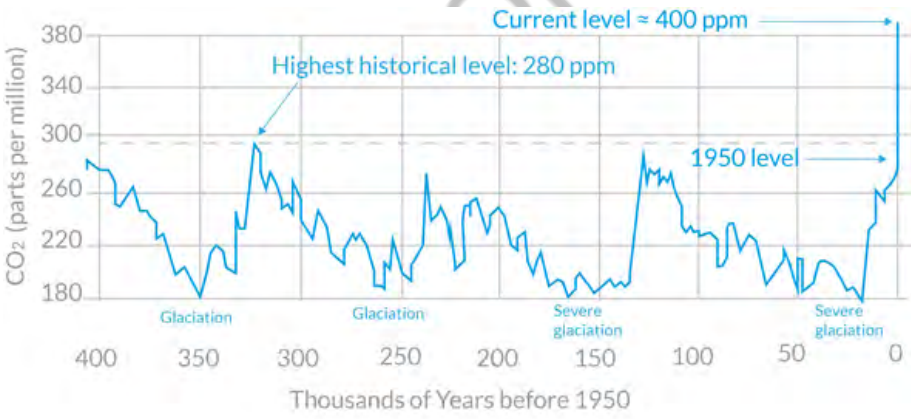


Figura 1. *CO2 en la atmósfera.*
Fuente: *Cris Barredo/Latitud 42. https://www.wearewater.org/es/reducir-las-emisiones-de-co2-principal-objetivo-planetario_273571)*

BORRADOR

VERSIÓN BORRADOR

1.1.

Estrategias planificación y urbanismo sostenible

VERSIÓN BORRADOR

CARACTERIZACIÓN DE APLICABILIDAD																		
		CICLO DE VIDA				SUELO			CLIMA			ESCALA			SOCIAL		
1. MATERIALES ID	ESTRATEGIA	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN	DECONSTRUCCIÓN	URBANO	EXPANSIÓN	SUBURBANO	CÁLIDO SECO	CÁLIDO HÚMEDO	TEMPLADO	DETALLE	EDIFICACIÓN	URBANISMO	PRIORIDAD LOCAL	VINCULACIÓN SOCIAL	REFERENCIA DOCUMENTAL
US.01.	INFRAESTRUCTURA URBANA QUE FOMENTE ECONOMÍA CIRCULAR																-
US.02.	30% MATERIALES 3R EN CONSTRUCCIÓN DEL URBANISMO																A
US.03.	30% MATERIALES DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA																-

MATRIZ DE VERIFICACIÓN														PUNTOS ASIGNADOS
		DOCUMENTO		PLANIMETRÍA		CÁLCULO		SIMULACIÓN		META				
1. MATERIALES ID	ESTRATEGIA	El proyecto presenta la documentación requerida para la verificación?		El proyecto presenta la planimetría requerida para la verificación?		El proyecto presenta los documentos de cálculo requeridos para la verificación?		El proyecto presenta la simulación requerida para la verificación?		El proyecto cumple con el objetivo planteado por la estrategia?			Puntuación por estrategia de acuerdo a la matriz de valoración del MCS	
US.01.	INFRAESTRUCTURA URBANA QUE FOMENTE ECONOMÍA CIRCULAR	SI	NO	SI	NO	N.A.		N.A.		SI	NO	-		
US.02.	30% MATERIALES 3R EN CONSTRUCCIÓN DEL URBANISMO	N.A.		SI	NO	SI	NO	N.A.		SI	NO	N.A.		
US.03.	30% MATERIALES DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA	N.A.		SI	NO	SI	NO	N.A.		SI	NO	N.A.		

US.1. Acciones para la conservación

US.1.1. Afectaciones Ambientales

Descripción

Los proyectos de urbanismo realizan la transformación de un área natural establecida, con unas condiciones ambientales propias que pueden o no ser modificadas de acuerdo a su jerarquía, establecida por los servicios ecosistémicos que brinda, por su ubicación estratégica como corredor ecológico e incluso, por condiciones de riesgo que deben ser preservadas para salvaguardar la vida de las personas.

Esto, determina la necesidad de identificar los posibles impactos y afectaciones ambientales generadas por la ejecución del proyecto, con el fin de tener claros las áreas que deben ser respetadas en su totalidad, las áreas que pueden ser intervenidas parcialmente y las que serán transformadas al cien por ciento, esto no solamente para el conocimiento de los líderes del proceso, sino también para la totalidad de los colaboradores en el proceso de transformación del área.

VERSIÓN BORRADOR

Aplicación

Su implementación se da en dos momentos del ciclo de vida, en primer lugar en el diseño, donde se deben establecer la totalidad de posibles impactos y afectaciones ambientales tanto por la obra como por el proceso de construcción; y segundo, el control y seguimiento en el momento de construcción para garantizar el adecuado relacionamiento con el territorio.

La estrategia aplica para todas las clasificaciones del suelo, con un énfasis mayor en los suelos de expansión y suburbanos entendiendo que el suelo urbano tiene un proceso de transformación previo. Tiene aplicabilidad en todos los climas presentes en el territorio.

La escala de verificación es la de urbanismo, teniendo en cuenta que la estrategia busca la consolidación de un territorio que articule de forma armónica lo artificial y lo natural. El aporte social de la estrategia radica en la protección de los ecosistemas en pro de conservar y potenciar los beneficios en temas climáticos, de calidad del aire, estéticos y demás que tiene la presencia de la naturaleza en el entorno humano.

Cumplimiento

El cumplimiento de la estrategia se verifica en un mapa con la identificación de los posibles impactos y afectaciones ambientales y un documento que especifique las medidas o acciones que se deben tener en cuenta para evitarlos o minimizarlos.

US.1.2. Plan de manejo de fauna silvestre

Descripción

La adecuación de un territorio para garantizar la habitabilidad humana, es la transformación total de un territorio habitado por fauna silvestre, la cual debe desplazarse buscando lugares seguros. Para ordenar la forma en que los animales deben migrar, se genera el plan de manejo de fauna silvestre, el cual busca generar la menor cantidad de traumatismos que pueden llegar hasta la muerte de los animales al elegir direcciones de evacuación poco convenientes.

El plan de manejo de fauna silvestre debe establecer las formas de ahuyentamiento, rescate y reubicación de los animales existentes con el fin de preservar la vida y proteger la integridad de los mismos.

Aplicación

Su implementación se da en un momento intermedio del ciclo de vida, entre el diseño y la construcción con el fin de garantizar que el área se encuentra disponible para iniciar los preliminares de la obra. La estrategia aplica para todas las clasificaciones del suelo, con un énfasis mayor en los suelos de expansión y suburbanos entendiendo que el suelo urbano tiene un proceso de transformación previo. Tiene aplicabilidad en todos los climas presentes en el territorio. La escala de verificación es la de urbanismo, teniendo en cuenta que la estrategia aplica para la transformación de un territorio habitado por fauna silvestre. El aporte social de la estrategia radica en la protección de los ecosistemas en pro de conservar y potenciar los beneficios en temas climáticos, de calidad del aire, estéticos y demás que tiene la presencia de la naturaleza en el entorno humano.

VERSIÓN BORRADOR

Cumplimiento

El cumplimiento de la estrategia se verifica con la presentación de un documento en el que se especifiquen las acciones para el manejo de la fauna silvestre, el desarrollador deberá hacer un registro fotográfico y/o documental de la implementación del plan de manejo.

US.2. De la Edificiación

2. EDIFICACIÓN		MATRIZ DE APLICABILIDAD															
		CICLO DE VIDA				SUELO			CLIMA			ESCALA			SOCIAL		
ID	ESTRATEGIA	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN	DECONSTRUCCIÓN	URBANO	EXPANSIÓN	SUBURBANO	CÁLIDO SECO	CÁLIDO HÚMEDO	TEMPLADO	DETALLE	EDIFICACIÓN	URBANISMO	PRIORIDAD LOCAL	VINCULACIÓN SOCIAL	REFERENCIA DOCUMENTAL
US.2.1.	PROYECTO UBICADO EN SUELO URBANO																-
US.2.2.	REDUCCIÓN ÍNDICE DE OCUPACIÓN																-
US.2.3.	APROVECHAMIENTO DEL ÍNDICE DE CONSTRUCCIÓN MÁXIMO PERMITIDO																-
US.2.4.	EDIFICACIÓN DE USOS MIXTOS																-
US.2.5.	RECICLAJE / REUSO DE EDIFICACIÓN EXISTENTE																-

2. EDIFICACIÓN		MATRIZ DE VERIFICACIÓN												PUNTOS ASIGNADOS
		DOCUMENTO		PLANIMETRÍA		CÁLCULO		SIMULACIÓN	META					
ID	ESTRATEGIA	El proyecto presenta la documentación requerida para la verificación?		El proyecto presenta la planimetría requerida para la verificación?		El proyecto presenta los documentos de cálculo requeridos para la verificación?		El proyecto presenta la simulación requerida para la verificación?	El proyecto cumple con el objetivo planteado por la estrategia?					Puntuación por estrategia de acuerdo a la matriz de valoración del MCS
US.2.1.	PROYECTO UBICADO EN SUELO URBANO	SI	NO	N.A.		N.A.		N.A.	SI	NO	N.A.			
US.2.2.	REDUCCIÓN ÍNDICE DE OCUPACIÓN	N.A.		SI	NO	SI	NO	N.A.	SI	NO	N.A.			
US.2.3.	APROVECHAMIENTO DEL ÍNDICE DE CONSTRUCCIÓN MÁXIMO PERMITIDO	N.A.		SI	NO	SI	NO	N.A.	SI	NO	N.A.			
US.2.4.	EDIFICACIÓN DE USOS MIXTOS	SI	NO	SI	NO	N.A.		N.A.	SI	NO	N.A.			
US.2.5.	RECICLAJE / REUSO DE EDIFICACIÓN EXISTENTE	SI	NO	SI	NO	N.A.		N.A.	SI	NO	N.A.			

US.2.1. Proyecto ubicado en el suelo urbano

Descripción

La estrategia busca fomentar el desarrollo de proyectos en el suelo urbano, ya que es un área que cuenta con la infraestructura de servicios públicos, de movilidad, además de contar con acceso a equipamientos colectivos de todo tipo. Se favorece la compacidad de la ciudad evitando la antropización del suelo, minimizando el consumo del mismo en suelos de expansión, suburbano o rural.

Aplicación

Esta estrategia se desarrolla exclusivamente en el momento de diseño del ciclo de vida, teniendo en cuenta que allí se realiza la gestión del suelo para el desarrollo del proyecto. Al ser una estrategia tan específica del suelo urbano, solo se puede lograr si se encuentra en dicha clasificación del suelo.

Tiene aplicabilidad en todos los climas presentes en el territorio. La escala de verificación es la de urbanismo, teniendo en cuenta que solo se requiere la ubicación del mismo en el contexto municipal. La estrategia puede aportar bastante en la consolidación social a partir de un proyecto que puede elegir servicios y mano de obra con prioridad local e integrar la población para la definición del proyecto, al contar con personas activas que habitan el entorno, a diferencia del suelo de expansión o rural, donde la población no existe o se encuentra dispersa.

Cumplimiento

El cumplimiento de la estrategia se verifica a partir de un documento que determine la clasificación del suelo donde se ubica el proyecto de acuerdo a lo determinado por el POT Acuerdo 337 de 2014. Este informe puede ser producido por el desarrollador o por la plataforma SIG de consulta de norma (si se tiene activa).

US.2.2. Reducción Índice de Ocupación

Descripción

Esta estrategia, articulada con la **US.2.3. Aprovechamiento del índice de construcción máximo permitido**, busca la reducción del impacto por la antropización del suelo, incentivando el mayor aprovechamiento posible en términos de metros cuadrados construidos con la menor ocupación posible del suelo. Priman entonces los modelos edificatorios compactos que maximizan la presencia de espacio público, áreas verdes, espacios privados abiertos de aprovechamiento colectivo u otro con similares características.

El proyecto debe cumplir todos los requerimientos normativos urbanísticos establecidos en el POT Acuerdo 373 de 2014, en cuanto a alturas máximas permitidas, retrocesos mínimos, patios y otros, sin embargo, lo que busca la estrategia es que los desarrolladores optimicen el espacios privados y potencien los espacios abiertos de uso colectivo, de esta forma el manual de construcción sostenible pretende lograr que los desarrolladores pasen de los mínimos requeridos por el POT a óptimos espacios que permitan la consolidación de la calidad espacial urbana a través de los espacios públicos y los espacios abiertos de carácter privado.

VERSIÓN BORRADOR

Aplicación

La estrategia se verifica en el primer momento del ciclo de vida, ya que es la fase de diseño la que determina la cantidad de metros cuadrados a ocupar por la(s) edificación(es).

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio. La escala para entrega de documentación es la de urbanismo, teniendo en cuenta que se debe establecer la cantidad de espacio ocupado en la propuesta general. Las condiciones urbanísticas generales de la edificación se encuentran establecidas en el POT Acuerdo 373 de 2014, anexos y/o documentos complementarios.

Cumplimiento

La verificación de cumplimiento se realiza a través de dos elementos: la planimetría del urbanismo donde se establezcan los espacios construidos y los liberados del área útil, y la memoria de cálculos donde se demuestre que el índice de ocupación es menor al máximo permitido por el POT Acuerdo 373 de 2014.

US.2.3. Aprovechamiento del índice de construcción máximo permitido

Descripción

Esta estrategia busca minimizar la antropización del suelo que se da por el crecimiento acelerado de las ciudades, requerido por la baja eficiencia en el consumo del recurso, esto se da debido a que áreas en las cuales se puede desarrollar cierto índice de construcción, los desarrolladores emplean índices menores, dejando un remanente de construcción al cual ya no se puede acceder, llevando la presión edificatoria a nuevas áreas del territorio, especialmente perimetrales. Esto determina que un componente de la sostenibilidad es hacer un consumo eficiente del suelo, garantizando que se realice un aprovechamiento a tope del índice de construcción.

El tope que se debe alcanzar para cumplir con esta estrategia es la suma del Índice de Construcción Base más el Índice de Construcción Adicional de acuerdo a los mapas N° 45 índice de construcción base –ICB– y N° 46 índice de construcción adicional –ICA– del POT Acuerdo 35 de 2014.

En el tratamiento desarrollo, para el cual no aplica el índice de construcción adicional, se determinará de acuerdo a la norma específica de plan parcial.

Aplicación

La estrategia se verifica en el primer momento del ciclo de vida, ya que es la fase de diseño la que determina la cantidad de metros cuadrados construidos del proyecto, es viable presentar un proyecto que no utiliza la totalidad de m2 posibles, pero que deja una reserva de suelo para el desarrollo del aprovechamiento, o que presenta un desarrollo programático.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio.

La escala para entrega de documentación es la de edificación, teniendo en cuenta que se debe establecer la cantidad de m2 construidos en la propuesta general.

VERSIÓN BORRADOR

Las condiciones urbanísticas generales de la edificación se encuentran establecidas en el POT Acuerdo 373 de 2014, anexos y/o documentos complementarios.

Cumplimiento

La verificación de cumplimiento se realiza a través de dos elementos: la planimetría del urbanismo donde se defina la cantidad de m2 construidos, y la memoria de cálculo (programas arquitectónicos) donde se establezca que el IC Proyecto es igual ICB + ICA.

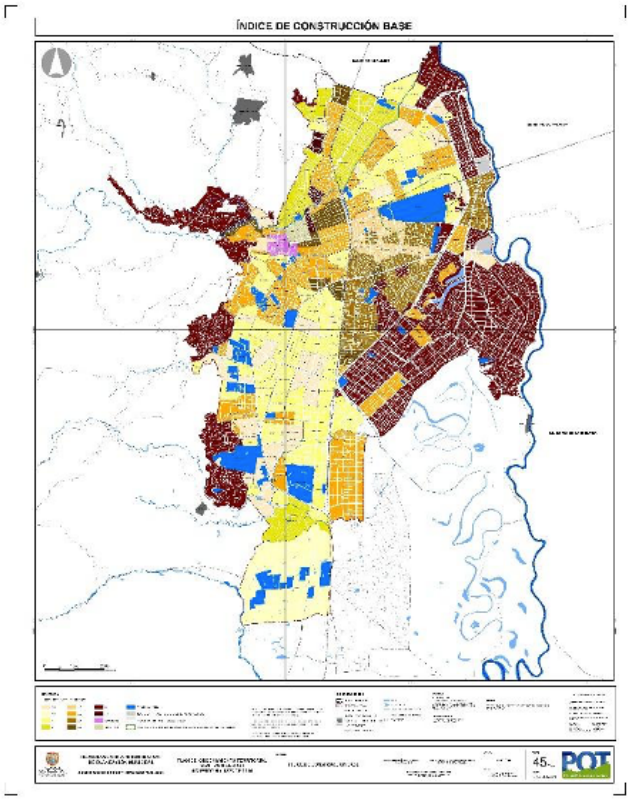


Figura 2. *Mapa No. 45. Índice de construcción base.*
Fuente: *POT Acuerdo 35 de 2014.*

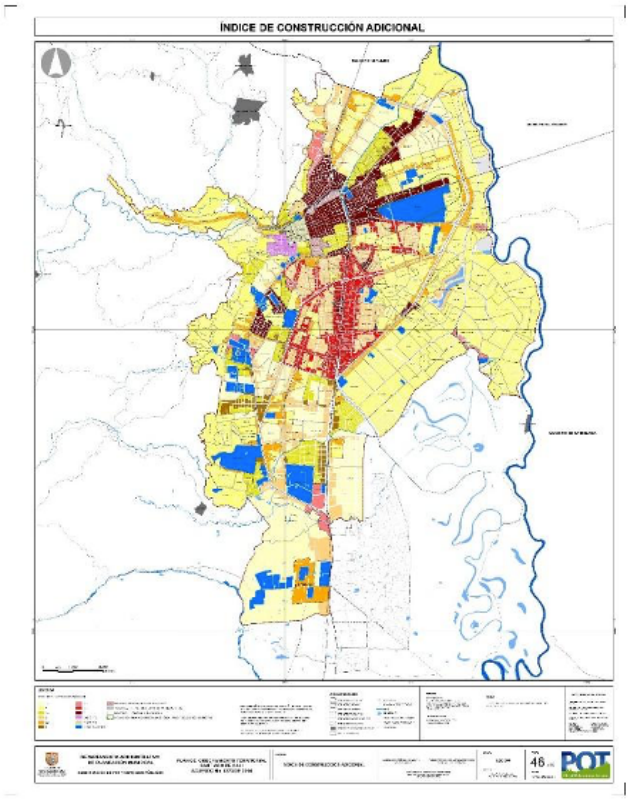


Figura 3. *Mapa No. 46. Índice de construcción adicional.*
Fuente: *POT Acuerdo 35 de 2014.*

US.2.4. Edificación de usos mixtos

Descripción

Se busca fomentar la multifuncionalidad de la ciudad, implementando usos mixtos que permitan crear sectores dinámicos, diversificados y complejos que brinden la mayor cantidad de actividades posibles para los habitantes, logrando así disminuir las necesidades de movilidad. Para esto, se debe favorecer la implantación de actividades comerciales, de servicios e incluso, de equipamientos colectivos en las primeras plantas, para dinamizar la calle, y el desarrollo de vivienda en áreas interiores y en plantas superiores, generando así la edificación de usos múltiples.

Aplicación

La estrategia se define en el primer momento del ciclo de vida, ya que es en la etapa de diseño donde se establece el programa urbano arquitectónico y la ubicación de las actividades. Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio. La verificación se realiza en la escala de edificación, teniendo en cuenta que se debe establecer la mixtura de actividades en no solo en el territorio, si no también en la edificación.

Para esta estrategia, se debe realizar la vinculación social, para que la definición de actividades a desarrollar en primeros pisos, responda a las necesidades y deseos de la comunidad.

Las actividades involucradas en el territorio deben responder a lo establecido por el POT Acuerdo 373 de 2014, por el estatuto de usos del suelo y/o cualquier otro instrumento que defina el uso del suelo en el distrito.

Cumplimiento

Se deben presentar dos elementos para la verificación de la estrategia: la planimetría urbana en la que se dé cuenta de las fachadas activas hacia la calle, y segundo, un documento que defina las acciones utilizadas, los porcentajes de la mezcla de usos, los servicios presentes y demás valores de la ciudad de la proximidad o ciudad de los 15 minutos que se pretende conformar.

US.2.5. Reciclaje/ reuso de edificación existente

Descripción

La estrategia pretende fomentar la recuperación y revitalización de edificaciones deterioradas sin uso, que pueden tener una nueva oportunidad, permitiendo la reducción de materias primas utilizadas. La edificación puede cambiar de uso, de estética o de cualquier otra variable, sin embargo, debe garantizar al menos un 60% de utilización de la estructura existente. La intervención y adecuación de edificaciones en condición de conservación por ser un Bien de Interés Cultural, aplican para esta estrategia, al buscar la revitalización de la edificación.

Aplicación

La estrategia se define en el primer momento del ciclo de vida, ya que es en la etapa de diseño donde se toma la decisión de intervenir una edificación existente.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio.

La verificación se realiza en la escala de edificación, teniendo en cuenta que se debe determinar el

VERSIÓN BORRADOR

porcentaje de edificación reutilizada/reciclada, en relación al proyecto propuesto.

Este tipo de proyecto puede aportar bastante en la consolidación social a partir de la elección de servicios y mano de obra con prioridad local e integrando la población para la definición del proyecto, al contar con personas que habitan el entorno, quienes pueden apoyar en la reconstrucción histórica, con el fin de definir un proyecto que genere apropiación en vez de rechazo por parte de la comunidad

Cumplimiento

La evaluación de la estrategia en el proyecto se realiza a partir de dos elementos, el primero, el formulario único nacional de curadurías donde se establezca que la licencia de construcción corresponde a las modalidades: c. Adecuación; d. modificación; o e. restauración; y segundo, planimetría de la edificación donde se pueda establecer el cumplimiento del 60% de edificación antigua versus un 40% de edificación nueva.

BORRADOR

US.3. Verde Urbano

3. VERDE URBANO		MATRIZ DE APLICABILIDAD														
		CICLO DE VIDA				SUELO			CLIMA				ESCALA			SOCIAL		
ID	ESTRATEGIA	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN	DECONSTRUCCIÓN	URBANO	EXPANSIÓN	SUBURBANO	CÁLIDO SECO	CÁLIDO HÚMEDO	TEMPLADO	DETALLE	EDIFICACIÓN	URBANISMO	PRIORIDAD LOCAL	VINCULACIÓN SOCIAL	REFERENCIA DOCUMENTAL
US.3.1.	CONSOLIDACIÓN DE BOSQUES URBANOS																B+C
US.3.2	ESPACIO PÚBLICO SUPERFICIES VEGETADAS																-
US.3.3.	AUMENTAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL PLAN DE COBERTURAS VEGETALES																D

3. VERDE URBANO		MATRIZ DE VERIFICACIÓN												PUNTOS ASIGNADOS
		DOCUMENTO		PLANIMETRÍA		CÁLCULO	SIMULACIÓN	META						
ID	ESTRATEGIA	El proyecto presenta la documentación requerida para la verificación?		El proyecto presenta la planimetría requerida para la verificación?		El proyecto presenta los documentos de cálculo requeridos para la verificación?	El proyecto presenta la simulación requerida para la verificación?	El proyecto cumple con el objetivo planteado por la estrategia?						Puntuación por estrategia de acuerdo a la matriz de valoración del MOS
US.3.1	CONSOLIDACIÓN DE BOSQUES URBANOS	N.A.		SI	NO	N.A.	N.A.	SI	NO	-				
US.3.2	ESPACIO PÚBLICO SUPERFICIES VEGETADAS	N.A.		SI	NO	N.A.	N.A.	SI	NO	-				
US.3.3	AUMENTAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL PLAN DE COBERTURAS VEGETALES	SI	NO	SI	NO	N.A.	N.A.	SI	NO	-				

US.3.1. Consolidación de Bosques urbanos

Descripción

La estrategia busca la consolidación e integración de corredores ecológicos generando un sistema que comunique las zonas verdes, los espacios públicos y los espacios naturales con el fin de potenciar la biodiversidad y aumentar la capacidad de adaptación climática gracias a la naturalización/renaturalización de la ciudad. El verde urbano se puede consolidar a partir de patios, antejardines, cubiertas verdes, entre otros en las edificaciones y de alamedas, perfiles viales en general u otro con presencia importante de verde en la escala urbana. Esta estrategia permite:

1. Establecer corredores ecológicos que comuniquen las zonas verdes ya existentes en la ciudad con los nuevos espacios naturales.
2. Conservar y aumentar la superficie con capacidad de retención de CO_2.
3. Con la vinculación social la realización de campañas de reforestación para mitigar los efectos del cambio climático.
4. Incrementar el arbolado de calle, favoreciendo las especies que se adecúan a las condiciones climáticas locales.

Aplicación

Ciclo de vida, la estrategia debe ser planteada desde el diseño urbanístico y protegida e integrada en el proceso de construcción.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio distrital.

La escala de evaluación es la de urbanismo, al verificarse la conectividad o intención de conexión con el sistema ambiental municipal.

Debe realizarse la vinculación social en la definición del bosque urbano con el fin de generar pertenencia y reconocimiento del área a ser protegida por la acción social.

Referencia documental con (B) Identificación de Zonas y Formulación de Propuestas para el Tratamiento de Islas de Calor y (C) Índice de Calidad Ambiental Urbana, documentos que profundizan el desarrollo conceptual de esta estrategia para el distrito y el país respectivamente.

Cumplimiento

El cumplimiento se verifica en la planimetría de la propuesta urbanística, donde se evidencia la adecuada definición e integración de las áreas a las dinámicas humanas a desarrollar en el territorio proyectado. Esta estrategia se debe cumplir de carácter obligatorio.

US.3.2. Espacio público con superficies vegetadas

Descripción

El sistema de espacio público tiene un papel importante en la consolidación ambiental de las ciudades, siempre y cuando, su conformación se realice a partir de elementos naturales y de superficies permeables. Éstos ayudan en la regulación de la temperatura, en el control de las escorrentías, a mejorar la calidad del aire, en el tránsito de la fauna, a crear espacios de mayor calidad espacial, entre otras.

VERSIÓN BORRADOR

Aplicación

La estrategia debe ser aplicada en tres momentos del ciclo de vida, en el diseño para establecer la cantidad y características del espacio público a desarrollar, en la construcción donde se delimita, se amuebla y se realiza la forestación del espacio, y en el momento de operación, con el fin de conservar la vegetación en el tiempo, reemplazando los especímenes deteriorados por edad, interacción humana o acciones del clima.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio distrital.

La escala de evaluación es de nivel urbano, ya que se verifica la existencia del espacio público y las condiciones constitutivas genéricas de éste.

La definición del espacio público debe realizarse a partir de la vinculación social, con el fin de lograr la apropiación del área para que haya una protección del mismo por parte de la comunidad.

Cumplimiento

La verificación de la estrategia se realiza en la planimetría de escala urbana, revisando dos elementos principalmente: el espacio público efectivo y los perfiles viales. En el primero se debe evidenciar un área superior al 60% del total destinada a áreas verdes y vegetadas; y el segundo, debe garantizar un área de amoblamiento o similar que permita la presencia de vegetación de acuerdo a los estudios bioclimáticos para favorecer el confort en el espacio abierto. Esta estrategia se debe cumplir de carácter obligatorio.

US.3.3. Aumentar servicios Ecosistémicos en el Plan de Coberturas vegetales

Descripción

La sostenibilidad pretende un uso eficiente de los recursos naturales, por tanto, el verde urbano debe adaptarse a esta situación, implementando especies vegetales que se adapten a las condiciones del clima para no requerir recursos adicionales para su supervivencia y que aumente los servicios ecosistémicos del territorio. De acuerdo a esto las especies vegetales de mayor y menor envergadura definidos en el plan de coberturas vegetales, deben ser especies de elevado valor ecológico, alta capacidad de retención de CO2, bajas o nulas necesidades de mantenimiento, con una alta oferta para la fauna local, que favorezca el ciclo del agua, entre otros.

La elección de la vegetación debe cumplir con los criterios planteados en el (D) Plan de Silvicultura de Santiago de Cali, priorizando la utilización de los “árboles notables” de la región, no utilizando las especies vetadas, garantizando las condiciones constitutivas de la especie de acuerdo a su localización entre otras.

Las áreas a intervenir son suelos de protección, parques, alamedas, antejardines, separadores, bandas de aislamiento, taludes y demás áreas blandas del urbanismo.

Aplicación

La estrategia debe ser implementada desde el diseño, momento en el que se definen las especies arbóreas a sembrar y en la construcción, garantizando que efectivamente se siembre las especies que se adaptan a las condiciones climáticas y de urbanismo del proyecto.

VERSIÓN BORRADOR

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio distrital. La escala de evaluación es la de detalle, teniendo en cuenta que se debe determinar una a una la ubicación y la especie de vegetación que se va a implementar.

En cuanto a la variable social, la elección de las especies arbóreas y arbustivas deben responder a las dos características, primando los especímenes de mayor reconocimiento local por clima y por apropiación social, una forma interesante consiste en vincular a la población para definir las especies de mayor tradición, lo que permite una definición de paisaje de manera integral.

La aplicación de esta estrategia debe tener en cuenta el Plan de Silvicultura de Santiago de Cali y su anexo A Listado de especies recomendadas de acuerdo a origen, características morfológicas, oferta ecosistémica y emplazamientos urbanos para Santiago de Cali.

Cumplimiento

La verificación de la estrategia se realizará a partir de dos elementos:

1. Documento con el plan de coberturas vegetales en el que se especifique la especie, las condiciones de siembra, las características finales del espécimen y su función ecosistémica.
2. Planimetría a escala urbana en la que se ubiquen los especímenes existentes y propuestos del proyecto.

US.4. Social

4. SOCIAL		MATRIZ DE APLICABILIDAD														
		CICLO DE VIDA				SUELO			CLIMA			ESCALA			SOCIAL		
ID	ESTRATEGIA	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN	DECONSTRUCCIÓN	URBANO	EXPANSIÓN	SUBURBANO	CÁLIDO SECO	CÁLIDO HÚMEDO	TEMPLADO	DETALLE	EDIFICACIÓN	URBANISMO	PRIORIDAD LOCAL	VINCULACIÓN SOCIAL	REFERENCIA DOCUMENTAL
US.4.1.	ACCESO A EQUIPAMIENTOS COLECTIVOS																-
US.4.2.	VINCULACIÓN SOCIAL AL PROYECTO																-
US.4.3.	VINCULACIÓN LABORAL DE PERSONAS RESIDENTES EN EL ENTORNO																-

4. SOCIAL		MATRIZ DE VERIFICACIÓN												PUNTOS ASIGNADOS
		DOCUMENTO		PLANIMETRÍA		CÁLCULO	SIMULACIÓN	META						
ID	ESTRATEGIA	El proyecto presenta la documentación requerida para la verificación?		El proyecto presenta la planimetría requerida para la verificación?		El proyecto presenta los documentos de cálculo requeridos para la verificación?	El proyecto presenta la simulación requerida para la verificación?	El proyecto cumple con el objetivo planteado por la estrategia?						Puntuación por estrategia de acuerdo a la matriz de valoración del MCS
US.4.1.	ACCESO A EQUIPAMIENTOS COLECTIVOS	N.A.		S	NO	N.A.	N.A.	SI	NO	N.A.				
US.4.2.	VINCULACIÓN SOCIAL AL PROYECTO	SI	NO	N.A.		N.A.	N.A.	SI	NO	N.A.				
US.4.3.	VINCULACIÓN LABORAL DE PERSONAS RESIDENTES EN EL ENTORNO	SI	NO	N.A.		N.A.	N.A.	SI	NO	N.A.				

BORRADOR

US. 4.1. Acceso a equipamientos colectivos

Descripción

Las ciudades deben garantizar el acceso a los servicios básicos como educación, salud y recreación, lo cual se debe consolidar un área de usos mixtos y favorecer el desarrollo de equipamientos colectivos asequibles y accesibles.

La selección de la ubicación del proyecto o la definición de áreas para la construcción de equipamientos colectivos y espacio públicos para la recreación harán territorios con mayores oportunidades para el desarrollo físico, intelectual y económico de las familias.

Se contabilizarán los equipamientos en un rango de 700 metros calculados de forma lineal siguiendo el recorrido peatonal entre las viviendas y el equipamiento colectivo.

Aplicación

La definición de esta estrategia debe realizarse en el momento de diseño del ciclo de vida, ya que es una estrategia de planificación del proyecto, sea en la elección del predio a intervenir o en la definición de un instrumento de planificación intermedia.

La estrategia se puede desarrollar en cualquier clasificación del suelo y clima, ya que las variables no tienen relación directa.

La aplicación se debe realizar en una escala de urbanismo, ya que se evalúa el proyecto con el contexto cercano.

El aporte social de este capítulo es total, teniendo en cuenta que los equipamientos colectivos son espacios de intercambio para la comunidad, entre ellos y con actores externos a la comunidad que brindan servicios de diferente índole.

Cumplimiento

Para el cumplimiento de la estrategia, el área residencial debe tener acceso a dos (2) equipamientos colectivos en un rango de 700 metros calculados de forma lineal siguiendo el recorrido peatonal.

US.4.2. Vinculación social al proyecto

Descripción

Un territorio con sentido de pertenencia se construye entre todos, por ende, es indispensable reconocer los habitantes del entorno al proyecto, interpretar los requerimientos que tienen como comunidad y vincular dichas opiniones en la definición del proyecto que permitan la construcción de un territorio coherente que aporte en la mejora de la calidad de vida de todos los habitantes del sector.

Es evidente que el proyecto no está en la obligación de responder a necesidades insatisfechas del contexto, por tanto, se debe de forma innovadora establecer los posibles aportes del proyecto al entorno y validar con la comunidad las acciones de mayor pertinencia e interés, como pueden ser un pequeño parque infantil, la recuperación de un suelo de protección, conexiones peatonales adecuadas, manejo de escorrentías, entre otros.

VERSIÓN BORRADOR

Aplicación

La aplicación de la estrategia en el ciclo de vida se debe dar en la fase de diseño, con el fin que las consideraciones sociales permeen la definición del proyecto, sin embargo, la aplicación de acuerdo a la acción y al nivel de innovación también se puede dar en los momentos de construcción y operación.
La estrategia se puede desarrollar en cualquier clasificación del suelo y clima, ya que las variables no tienen relación directa.

La escala de análisis puede ser detalle, edificación o urbanismo de acuerdo a la acción a implementar.

El aporte social es directo, ya que se están mejorando las condiciones del contexto de las personas que habitan en el sector, aportando directamente al mejoramiento de la calidad de vida.

Cumplimiento

La verificación del cumplimiento de la estrategia se genera con la documentación del proceso de construcción colectiva entre los promotores del proyecto y la comunidad del sector, donde se evidencie como conclusión la acción a implementar en beneficio de todos los actores del proceso.

US.4.3. Vinculación laboral de personas residentes en el entorno

Descripción

La vinculación de personas residentes en el sector donde se ubica el proyecto, puede ser compleja, teniendo en cuenta, necesidades especiales de conocimiento de los empleados y la confianza que se genera sobre un equipo de trabajo preestablecido, sin embargo, la posibilidad de seleccionar un porcentaje de empleados que se encuentren en el área de influencia tiene ventajas adicionales como:

1. La apropiación de la comunidad hacia el proyecto.
2. Mejora del flujo económico del sector.
3. Reducción de la huella energética generada por el proyecto.
4. Reducción de la huella de CO2 generada por el proyecto.
5. Mejor calidad de vida de los empleados.

Aplicación

La aplicación de la estrategia en el ciclo de vida se debe dar en la fase de construcción inicialmente, aunque podría darse desde el diseño si se da la oportunidad y lo mismo en la deconstrucción del proyecto. Sin embargo, una acción con mayor impacto, es que las personas del sector trabajen en el momento de operación del proyecto, ya que es el momento de mayor tiempo. La estrategia se puede desarrollar en cualquier clasificación del suelo y clima, ya que las variables no tienen relación directa.

La escala de análisis es de detalle, ya que se debe presentar documentación laboral de las personas que laboran en el proyecto. El aporte social es directo, ya que se está aportando directamente al mejoramiento de la calidad de vida, con una estrategia de sostenibilidad pura, apuntando a lo económico, social y ambiental.

Cumplimiento

La verificación de la estrategia se realiza a través de un documento administrativo en el que se evidencien los empleados directos o colaboradores que residen en un radio de 5 kilómetros, la relación con el total de empleados y colaboradores debe ser del 51%. construcción colectiva entre los promotores del proyecto y la comunidad del sector, donde se evidencie como conclusión la acción a implementar en beneficio de todos los actores del proceso.

VERSIÓN BORRADOR

US.5. Movilidad

5. MOVILIDAD		MATRIZ DE APLICABILIDAD															
		CICLO DE VIDA				SUELO			CLIMA			ESCALA			SOCIAL		
ID	ESTRATEGIA	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN	DECONSTRUCCIÓN	URBANO	EXPANSIÓN	SUBURBANO	CÁLIDO SECO	CÁLIDO HÚMEDO	TEMPLADO	DETALLE	EDIFICACIÓN	URBANISMO	PRIORIDAD LOCAL	VINCULACIÓN SOCIAL	REFERENCIA DOCUMENTAL
US.5.1.	ACCESO AL SISTEMA DE TRANSPORTE																-
US.5.2.	PARQUEADEROS COMPACTOS																-
US.5.3.	CICLOPARQUEADEROS ADICIONALES																-

5. MOVILIDAD		MATRIZ DE VERIFICACIÓN											PUNTOS ASIGNADOS
		DOCUMENTO	PLANIMETRÍA		CÁLCULO	SIMULACIÓN	META						
ID	ESTRATEGIA	El proyecto presenta la documentación requerida para la verificación?	El proyecto presenta la planimetría requerida para la verificación?		El proyecto presenta los documentos de cálculo requeridos para la verificación?	El proyecto presenta la simulación requerida para la verificación?	El proyecto cumple con el objetivo planteado por la estrategia?						Puntuación por estrategia de acuerdo a la matriz de valoración del MCS
US.5.1.	ACCESO AL SISTEMA DE TRANSPORTE	N.A.	S	NO	N.A.	N.A.	S	NO	N.A.				
US.5.2.	PARQUEADEROS COMPACTOS	N.A.	S	NO	N.A.	N.A.	S	NO	N.A.				
US.5.3.	CICLOPARQUEADEROS ADICIONALES	N.A.	S	NO	N.A.	N.A.	S	NO	N.A.				

VERSIÓN

US.5.1. Acceso al sistema de transporte público

Descripción

Fomentar el acceso al transporte público es una finalidad de toda ciudad sostenible debido a los beneficios en salud, en consumo de recursos, en impactos ambientales y en calidad de vida en general que trae para los habitantes. Si bien la consolidación del sistema de transporte público es de la administración municipal, los proyectos de urbanismo deben garantizar el acceso al transporte público, entendiendo que al usar este se está hablando de movilidad multimodal, que como mínimo es peatonal y motorizada.

De acuerdo a esto, el proyecto de urbanismo debe garantizar circulaciones peatonales continuas, protegidas y accesibles desde las zonas de actividades humanas hasta los punto de paraderos de buses, BTR, tranvía, metro y demás formas de transporte público que existan en la ciudad de acuerdo a la cercanía y disponibilidad del sector.

Aplicación

La aplicación de la estrategia en el ciclo de vida se debe desarrollar en el momento de diseño, estableciendo las condiciones mínimas de

accesibilidad, protección y definiendo los recorridos más amigables con el peatón y la bicicleta; adicionalmente, en el momento de construcción donde se debe realizar la materialización de los recorridos y paraderos que fomenten el uso del transporte público. La estrategia se puede desarrollar en cualquier clasificación del suelo y clima, ya que las variables no tienen relación directa.

La escala de análisis es de urbanismo, ya que se debe realizar un planteamiento general de conexiones al transporte público, acompañado de detalles de rampas e intersecciones.

Cumplimiento

Para la verificación de la estrategia se debe presentar planimetría de urbanismo, donde se establezcan los recorridos peatonales primarios con conexión al transporte público, que incluya los detalles de rampas, intersecciones y los elementos de mobiliario y protección para el peatón.

US.5.2. Parqueaderos compactos

Descripción

Los parqueaderos compactos buscan que el proyecto urbano fomente el uso de vehículos pequeños, los cuales consumen una menor cantidad de energía y generan menores o nulas emisiones de gases efecto invernadero. La destinación de los parqueaderos será para vehículos eléctricos o de bajo cilindraje, con el fin de minimizar los impactos sobre el medio ambiente de motores de gasolina o diesel que consumen de forma excesiva.

Las celdas de parqueo deben estar ubicadas en lugares privilegiados de la planta de parqueadero, cercanas a los accesos, rampas y escaleras, y si el constructor lo considera pertinente, contiguos a los parqueaderos para personas con movilidad reducida.

Aplicación

La aplicación de la estrategia en el ciclo de vida se da en el momento de diseño, ya que es allí donde se toma la decisión proyectual de generar las celdas; adicionalmente, en el momento de construcción donde se debe realizar la materialización de los parqueaderos cumpliendo la norma y restringiendo el tamaño del vehículo con parqueaderos para bicicletas, jardines, materas, bolardos o cualquier otro elemento que limite el acceso a vehículos no compactos.

La estrategia se puede desarrollar en cualquier clasificación del suelo y clima, ya que las variables no tienen relación directa.

La escala de análisis es de edificio, ya que se debe presentar la planimetría general de parqueaderos.

Cumplimiento

Para la verificación de la estrategia se debe presentar la planimetría de parqueaderos con la localización de las celdas compactas, acompañado de detalles de los elementos a utilizar para limitar el acceso a vehículos no compactos.

VERSIÓN BORRADOR

US.5.3. Ciclo Parqueaderos adicionales

Descripción

La movilidad alternativa permite la generación de comunidades más saludables, territorios con mejores condiciones de habitabilidad y ayudan en la conservación del medio ambiente. Motivos que sin lugar a duda toda ciudad que busque ser sostenible debe incorporar en su sistema de movilidad.

Las condiciones de ciclo bandas están dadas en el plan de ordenamiento territorial y buscan interconectar la ciudad apoyando el sistema de transporte público, en busca de un sistema multimodal eficiente.

De acuerdo a esto, proveer una mayor cantidad de parqueaderos seguros y con las condiciones necesarias para parquear la bicicleta, fomenta la utilización del medio de transporte.

Aplicación

La aplicación de la estrategia en el ciclo de vida se da en el momento de diseño, ya que es allí donde se toma la decisión proyectual de generar los ciclo parqueaderos adicionales; y en el momento de construcción donde se debe realizar la materialización de los parqueaderos. La estrategia se puede desarrollar en cualquier clasificación del suelo y clima, ya que las variables no tienen relación directa. La escala de análisis es de edificio, ya que se debe presentar la planimetría general de parqueaderos.

Cumplimiento

Para la verificación de la estrategia se debe presentar la planimetría de parqueaderos con la localización de los cicloparqueaderos adicionales.

BORRADOR

US.6. Energía

4. ENERGÍA		MATRIZ DE APLICABILIDAD															
		CICLO DE VIDA				SUELO			CLIMA			ESCALA			SOCIAL		
ID	ESTRATEGIA	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN	DECONSTRUCCIÓN	URBANO	EXPANSIÓN	SUBURBANO	CÁLIDO SECO	CÁLIDO HÚMEDO	TEMPLADO	DETALLE	EDIFICACIÓN	URBANISMO	PRIORIDAD LOCAL	VINCULACIÓN SOCIAL	REFERENCIA DOCUMENTAL
US.20.	ALUMBRADO PÚBLICO DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO Y EFICIENTE EN CALIDAD/CANTIDAD DE LUZ																-
US.22.	IMPLEMENTACIÓN O CONSUMO ENERGÉTICO DE DISTRITOS TÉRMICOS																-

4. ENERGÍA		MATRIZ DE VERIFICACIÓN										PUNTOS ASIGNADOS
		DOCUMENTO	PLANIMETRÍA		CÁLCULO		SIMULACIÓN	META				
ID	ESTRATEGIA	El proyecto presenta la documentación requerida para la verificación?	El proyecto presenta la planimetría requerida para la verificación?		El proyecto presenta los documentos de cálculo requeridos para la verificación?		El proyecto presenta la simulación requerida para la verificación?	El proyecto cumple con el objetivo planteado por la estrategia?				Puntuación por estrategia de acuerdo a la matriz de valoración del MCS
US.20.	ALUMBRADO PÚBLICO DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO Y EFICIENTE EN CALIDAD/CANTIDAD DE LUZ	N.A.	SI	NO	SI	NO	N.A.	SI	NO	-		
US.22.	IMPLEMENTACIÓN O CONSUMO ENERGÉTICO DE DISTRITOS TÉRMICOS	N.A.	SI	NO	SI	NO	N.A.	SI	NO	-		

U.S.6.1. Alumbrado público de bajo consumo energético y eficiente calidad/cantidad de luz

Descripción

La elección del alumbrado público determina en gran medida la eficiencia energética urbana, por tanto, el proyecto debe incorporar como mínimo luminarias eficientes, y en lo posible estrategias que garanticen la reducción en el consumo de este recurso. Entre estos, luminarias con la potencia justa de iluminación de acuerdo a la actividad que se realice en el espacio abierto, luminarias con sensores de movimiento con el fin de evitar consumos innecesarios, luminarias de energía solar o cualquier medida tradicional o innovadora que permita el consumo mínimo del recurso.

Aplicación

En el ciclo de vida, la estrategia se ve reflejada en tres momentos, en el diseño ya que es el momento donde se elige el sistema a implementar; en la construcción ya que es allí donde se implementa el sistema; y en la operación ya que se pone en marcha el sistema elegido y a partir de la puesta en marcha, se debe evaluar para establecer si está generando los impactos positivos esperados.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio distrital.

La estrategia se evalúa en dos escalas, en la escala de detalle donde se debe presentar los productos elegidos para la instalación, y en la escala urbana mostrando el sistema general de iluminación presentado. La aplicación de esta estrategia debe estar acorde a las consideraciones de la empresa encargada de tal fin en el distrito.

Cumplimiento

La verificación de esta estrategia se realiza a partir a partir de dos elementos:

1. Se debe presentar el cálculo del consumo en alumbrado público esperado, estableciendo el ahorro esperado de acuerdo a un sistema de alumbrado tradicional.
2. Planimetría urbana donde se presenta la definición del sistema de alumbrado con la localización de las instalaciones elegidas. Esta estrategia es de carácter obligatorio.

VERSIÓN BORRADOR



US.7. Materiales

7. MATERIALES		MATRIZ DE APLICABILIDAD															
		CICLO DE VIDA				SUELO			CLIMA			ESCALA			SOCIAL		
ID	ESTRATEGIA	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN	DECONSTRUCCIÓN	URBANO	EXPANSIÓN	SUBURBANO	CÁLIDO SECO	CÁLIDO HÚMEDO	TEMPLADO	DETALLE	EDIFICACIÓN	URBANISMO	PRIORIDAD LOCAL	VINCULACIÓN SOCIAL	REFERENCIA DOCUMENTAL
US.7.1.	REEMPLAZO DE AGREGADOS NATURALES POR RECICLADOS Y CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS																-
US.7.2.	INFRAESTRUCTURA CON MATERIALES DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA, Y BAJAS HUELLA HÍDRICA Y CARBONO.																A
US.7.3.	INFRAESTRUCTURA CON FUNCIONES AUTONÓMICAS PARA PURIFICACIÓN DEL AIRE, AUTOLIMPIEZA, AUTOREPARACIÓN.																
US.7.4.	MINIMIZAR SUPERFICIES IMPERMEABLES EN EDIFICACIÓN Y CONTEXTO																
US.7.5.	MINIMIZAR SUPERFICIES ABSORBENTES DE RADIACIÓN SOLAR																-

7. MATERIALES		MATRIZ DE VERIFICACIÓN												PUNTOS ASIGNADOS
		DOCUMENTO		PLANIMETRÍA		CÁLCULO		SIMULACIÓN	META					
ID	ESTRATEGIA	El proyecto presenta la documentación requerida para la verificación?		El proyecto presenta la planimetría requerida para la verificación?		El proyecto presenta los documentos de cálculo requeridos para la verificación?		El proyecto presenta la simulación requerida para la verificación?	El proyecto cumple con el objetivo planteado por la estrategia?					Puntuación por estrategia de acuerdo a la matriz de valoración del MCS
US.7.1	REEMPLAZO DE AGREGADOS NATURALES POR RECICLADOS Y CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS	SI	NO	SI	NO	SI	NO	N.A.	SI	NO	N.A.			
US.7.2	INFRAESTRUCTURA CON MATERIALES DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA, Y BAJAS HUELLA HÍDRICA Y CARBONO.	SI	NO	SI	NO	SI	NO	N.A.	SI	NO	N.A.			
US.7.3	INFRAESTRUCTURA CON FUNCIONES AUTONÓMICAS PARA PURIFICACIÓN DEL AIRE, AUTOLIMPIEZA, AUTOREPARACIÓN.	SI	NO	SI	NO	N.A.		N.A.	SI	NO	N.A.			
US.7.4	MINIMIZAR SUPERFICIES IMPERMEABLES EN EDIFICACIÓN Y CONTEXTO	N.A.		SI	NO	N.A.		N.A.	SI	NO	N.A.			
US.7.5	MINIMIZAR SUPERFICIES ABSORBENTES DE RADIACIÓN SOLAR	N.A.		SI	NO	N.A.		N.A.	SI	NO	N.A.			

U.S. 7. 1. Reemplazo de agregados naturales por reciclados y uso de cementantes suplementarios

Descripción

La implementación de esta estrategia exige que el urbanismo planteado se construya con un 30% de materiales reutilizados, recuperados y/o reciclados. Este urbanismo corresponde a andenes, bermas, ciclo bandas, rampas peatonales/vehiculares, escalones, mobiliario urbano, barandas, muros bajos, juegos infantiles, gimnasios urbanos y demás elementos constitutivos o complementarios que componen el espacio abierto sea público o privado. Para este ítem es válida acciones como la relocalización de especies arbóreas.

Para contabilizar el 30% de los materiales no se tiene en cuenta las calzadas vehiculares.

Aplicación

Ciclo de vida, la estrategia debe aplicarse en los momentos de diseño y construcción. Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio distrital.

Las escalas de evaluación son el detalle para determinar la viabilidad del material elegido y la escala de urbanismo para verificar la correcta implementación del material. En el componente social, se tendrá en cuenta que la elección del material sea tomada bajo criterios de prioridad local. La estrategia se encuentra articulada con la (A) Resolución 472 de 2017 "Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones".

Cumplimiento

La verificación del cumplimiento de esta estrategia se realizará a partir de:

1. Memorias de cálculo de los materiales en relación al urbanismo planteado.
2. Planimetría con la ubicación específica de los materiales utilizados.

U.S. 7. 2. Materiales de baja energía embebida, y bajas huella hídrica y carbono

Descripción

La implementación de esta estrategia exige que el urbanismo planteado se construya con un 30% de materiales con baja energía embebida.

Este urbanismo corresponde a andenes, bermas, ciclo bandas, rampas peatonales/vehiculares, escalones, mobiliario urbano, barandas, muros bajos, juegos infantiles, gimnasios urbanos y demás elementos constitutivos o complementarios que componen el espacio abierto sea público o privado.

Los materiales con baja energía embebida que también sean categorizados como 3R pueden contar para esta estrategia y para la US.21. a la vez. Para contabilizar el 30% de los materiales no se tiene en cuenta las calzadas vehiculares.

Aplicación

Ciclo de vida, la estrategia debe aplicarse en los momentos de diseño y construcción.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio distrital.

La escala de evaluación es el detalle, ya que es la elección e implementación del material la variable de análisis.

En el componente social, se tendrá en cuenta que la elección del material sea tomada bajo criterios de prioridad local.

Cumplimiento

La verificación del cumplimiento de esta estrategia se realizará a partir de:

1. Memorias de cálculo de los materiales en relación al urbanismo planteado.
2. Planimetría con la ubicación específica de los materiales utilizados.

VERSIÓN BORRADOR

U.S. 7.3. Funciones autonómicas para purificación del aire, autolimpieza y autoreparación

Descripción

La implementación de materiales inteligentes debe ir aumentando en la medida que los avances tecnológicos para el sector de la construcción sigan avanzando, la búsqueda además de trabajar en el reciclaje y reuso de materiales, debe generar nuevos aportes a los ecosistemas duales –artificial + natural– entendiendo que la transformación del territorio para el acceso humano también debe consolidar la habitabilidad.

Materiales que aporten en la purificación del aire con la captura de CO_2, que no requieran recursos por mantenimiento o que el material se pueda reparar sin requerir la intervención humana, entre otras, son funciones adicionales que pueden brindar los materiales del urbanismo para reducir los impactos de la transformación humana.

Aplicación

La estrategia debe aplicarse en los momentos de diseño y construcción del ciclo de vida.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio distrital. Las escalas de evaluación son el detalle, ya que es la elección e implementación del material la variable de análisis; y el urbanismo, para establecer la ubicación de los materiales implementados. En el componente social, se tendrá en cuenta que la elección del material sea tomada bajo criterios de prioridad local.

Cumplimiento

Para alcanzar el objetivo, se debe implementar uno o varios materiales con funciones autonómicas en el 10% de los materiales que componen el urbanismo.

U.S. 7.4. Minimizar superficies impermeables en edificación y contexto

Descripción

Busca complementar las estrategias de SUDS, evitando las escorrentías urbanas, la sobrecarga y el sobredimensionamiento de la infraestructura de alcantarillado pluvial en el distrito.

En primer lugar, la estrategia se refiere a la impermeabilidad en las edificaciones como una analogía a la recolección tradicional de la precipitación en cubierta y fachadas que se llevan a la tubería de aguas lluvias de la edificación, y muy rápidamente al sistema de alcantarillado pluvial, lo que hace que colapsen esta infraestructura, es por esto que evitar la impermeabilidad generada por la edificación busca que los desarrolladores planteen acciones de redireccionamiento y/o retención de las aguas lluvias entregando estas en zonas verdes con la capacidad requerida, o recolectando para consumo interno.

VERSIÓN BORRADOR

Segundo, las superficies impermeables en el contexto se articulan directamente con el conjunto de estrategias de verde urbano del presente capítulo, además busca fomentar la aplicación de materiales permeables en zonas que tradicionalmente han sido impermeabilizadas como es el caso de los parqueaderos a cielo abierto, las zonas abiertas de uso privados, los antejardines, entre otros.

Aplicación

La estrategia se define básicamente en dos momentos del ciclo de vida, en primer lugar, en el diseño, donde se establecen las acciones que se van a implementar, y segundo, en la construcción, ya que es de vital importancia que el desarrollo de la obra responda a los parámetros de recolección y disposición de las aguas pluviales.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio.

La escala de verificación es a nivel de edificación, ya que este permite identificar materiales propuestos en las superficies del contexto, y a la vez las acciones implementadas en los edificios para evitar el colapso de la infraestructura urbana.

Cumplimiento.

La verificación de la estrategia se realiza en la planimetría urbana y de edificación del proyecto, dependiendo del nivel de detalle requerido por las acciones implementadas.

U.S. 7.5. Minimizar superficies absorbentes de radiación solar

Descripción

La estrategia busca fomentar el estudio del albedo en la definición de los materiales elegidos para la construcción del urbanismo, aplicando los materiales de acuerdo a condiciones de reflejo/absorción de la radiación solar como el color y la densidad, evolucionando el criterio estético como único factor de elección.

La elección de los materiales para alcanzar esta estrategia debe garantizar que no aporten al efecto isla de calor, estos serían los materiales con albedos bajos. Sin embargo, se deben evaluar igualmente, efectos que suceden con materiales específicos como es el caso de las superficies vidriadas tipo espejo, ya que estas transmiten la totalidad de la radiación hacia otras zonas haciendo que estas se sobrecalienten.

Adicionalmente, para lograr un equilibrio en los materiales seleccionados con mayor o menor albedo se debe realizar una simulación de incidencia solar, garantizando que las zonas con mayor radiación solar se desarrollen con materiales de albedo alto, lo que permite que las zonas con menor radiación no tengan esta exigencia, gracias al sombreamiento natural o artificial.

VERSIÓN BORRADOR

Aplicación

La estrategia se define básicamente en dos momentos del ciclo de vida, en primer lugar, en el diseño, donde se establecen las acciones que se van a implementar en cuanto al albedo de los materiales, y segundo, en la construcción, ya que es de vital importancia que el desarrollo de la obra responda a los parámetros establecidos en la simulación de la incidencia solar.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio. La escala de verificación es edificación, ya que este permite un nivel de detalle intermedio en el cual se pueden revisar los materiales elegidos para el urbanismo, para las fachadas y para la cubierta de las edificaciones.

Cumplimiento

La verificación del proyecto se realiza a partir de dos elementos, uno la planimetría del proyecto a evaluar y dos, la simulación de la incidencia solar en el medio urbano, y su relación con los materiales elegidos, principalmente los de albedo bajo. La simulación debe demostrar que la elección de los materiales conserva la temperatura ambiente de la ciudad/sector.

US.8. Construcción

8. CONSTRUCCIÓN		MATRIZ DE APLICABILIDAD															
		CICLO DE VIDA				SUELO			CLIMA				ESCALA			SOCIAL		
ID	ESTRATEGIA	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN	DECONSTRUCCIÓN	URBANO	EXPANSIÓN	SUBURBANO	CÁLIDO SECO	CÁLIDO HÚMEDO	TEMPLADO	DETALLE	EDIFICACIÓN	URBANISMO	PRIORIDAD LOCAL	VINCULACIÓN SOCIAL	REFERENCIA DOCUMENTAL
US.8.1.	ENTRENAMIENTO OPERARIOS MANEJO EFICIENTE DE MAQUINARIA																E
US.8.2.	CONTROL DE EMISIONES EN TUBOS DE ESCAPE DE LOS EQUIPOS																E
US.8.3.	RENOVACIÓN DE MOTORES DE MAQUINARIA Y VEHÍCULOS UTILIZADOS																E
US.8.4.	EMPLEO DE BIODISEL O COMBUSTIBLES DE BAJO ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN																E
US.8.5.	LIMPIEZA DE VEHÍCULOS A LA SALIDA DE OBRA																
US.8.6.	CONCEPTO AMBIENTAL DE OBRA																-

8. CONSTRUCCIÓN		MATRIZ DE VERIFICACIÓN										PUNTOS ASIGNADOS
		DOCUMENTO		PLANIMETRÍA		CÁLCULO	SIMULACIÓN	META				
ID	ESTRATEGIA	El proyecto presenta la documentación requerida para la verificación?		El proyecto presenta la planimetría requerida para la verificación?		El proyecto presenta los documentos de cálculo requeridos para la verificación?	El proyecto presenta la simulación requerida para la verificación?	El proyecto cumple con el objetivo planteado por la estrategia?				Puntuación por estrategia de acuerdo a la matriz de valoración del MCS
US.8.1	ENTRENAMIENTO OPERARIOS MANEJO EFICIENTE DE MAQUINARIA	SI	NO	N.A.		N.A.	N.A.	SI	NO	N.A.		
US.8.2	CONTROL DE EMISIONES EN TUBOS DE ESCAPE DE LOS EQUIPOS	SI	NO	N.A.		N.A.	N.A.	SI	NO	N.A.		
US.8.3	RENOVACIÓN DE MOTORES DE MAQUINARIA Y VEHÍCULOS UTILIZADOS	SI	NO	N.A.		N.A.	N.A.	SI	NO	N.A.		
US.8.4	EMPLEO DE BIODISEL O COMBUSTIBLES DE BAJO ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN	SI	NO	N.A.		N.A.	N.A.	SI	NO	N.A.		
US.8.5	LIMPIEZA DE VEHÍCULOS A LA SALIDA DE OBRA	SI	NO	SI	NO	N.A.	N.A.	SI	NO	N.A.		
US.8.6	CONCEPTO AMBIENTAL DE OBRA	SI	NO	N.A.		N.A.	N.A.	SI	NO	N.A.		

BORRADOR

US.8.1. Entrenamiento operarios manejo eficiente de maquinaria

Descripción

La estrategia busca que el proceso de construcción genere menos impactos en la calidad ambiental de la ciudad lo que, en la misma línea, permite la generación de menos gases efecto invernadero.

La actividad a realizar es la formación adecuada de los trabajadores para el manejo de la maquinaria utilizada en el proceso de construcción ya que, al entender la forma de consumo de combustible, se puede hacer un uso eficiente de la maquinaria en términos de consumo y desgaste.

Aplicación

Las estrategias del grupo 8. Construcción, se enfocan en disminuir los impactos generados en el momento de construcción del ciclo de vida, por tanto, es en este momento en el que deben ser evaluadas y verificadas.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio. La verificación se realiza en la escala de detalle, al ser una actividad tan específica de la obra.El proceso de formación requerido para los trabajadores en esta estrategia hace que sea una actividad con un componente de vinculación social importante, ya que están siendo formados en temas de sostenibilidad, una de las necesidades principales en nuestra sociedad.

Esta acción se relaciona directamente con la (E) Estrategia Municipal de Desarrollo Bajo en Carbono para Cali.

Cumplimiento

La evaluación de la estrategia se realiza a través de un documento que determine los momentos de formación y la cantidad de trabajadores capacitados.

US.8.2. Control de emisiones en tubos de escape de los equipos

Descripción

La estrategia busca que el proceso de construcción genere menos impactos en la calidad ambiental de la ciudad lo que, en la misma línea, permite la generación de menos gases efecto invernadero.
La actividad a realizar es la adecuación de la maquinaria y los equipos con sistemas de control de material particulado y CO2 principalmente.

Aplicación

Las estrategias del grupo 8. Construcción, se enfocan en disminuir los impactos generados en el momento de construcción del ciclo de vida, por tanto, es en este momento en el que deben ser evaluadas y verificadas.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio.
La verificación se realiza en la escala de detalle, al ser una actividad tan específica de la obra.

El proceso de formación requerido para los trabajadores en esta estrategia hace que sea una actividad con un componente de vinculación social importante, ya que están siendo formados en temas de sostenibilidad, una de las necesidades principales en nuestra sociedad.

Esta acción se relaciona directamente con la (E) Estrategia Municipal de Desarrollo Bajo en Carbono para Cali.

VERSIÓN BORRADOR

Cumplimiento

La evaluación de la estrategia se realiza a través de un documento que presente un registro fotográfico con las acciones realizadas a las maquinarias y equipos, además debe presentar un estimado con la cantidad de trabajadores a ser formados.

US.8.3. Renovación de motores de maquinaria y vehículos utilizados

Descripción

La estrategia busca que el proceso de construcción genere menos impactos en la calidad ambiental de la ciudad lo que, en la misma línea, permite la generación de menos gases efecto invernadero. La actividad a realizar es la renovación de motores en la maquinaria y los equipos utilizados en el proceso de construcción con el fin de minimizar la producción de GEI haciendo uso de nuevas tecnologías.

Aplicación

Las estrategias del grupo 8. Construcción, se enfocan en disminuir los impactos generados en el momento de construcción del ciclo de vida, por tanto, es en este momento en el que deben ser evaluadas y verificadas.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio. La verificación se realiza en la escala de detalle, al ser una actividad tan específica de la obra. El proceso de formación requerido para los trabajadores en esta estrategia hace que sea una actividad con un componente de vinculación social importante, ya que están siendo formados en temas de sostenibilidad, una de las necesidades principales en nuestra sociedad.

Esta acción se relaciona directamente con la (E) Estrategia Municipal de Desarrollo Bajo en Carbono para Cali.

Cumplimiento

La evaluación de la estrategia se realiza a través de un documento que presente un registro documental con las facturas de los motores renovados para maquinaria y vehículos utilizados en la construcción, además debe presentar un estimado con la cantidad de trabajadores a ser formados en sostenibilidad y nuevas tecnologías implementadas.

VERSIÓN BORRADOR

US.8.4. Empleo de biodiesel o combustibles de bajo índice de contaminación

Descripción

La estrategia busca que el proceso de construcción genere menos impactos en la calidad ambiental de la ciudad lo que, en la misma línea, permite la generación de menos gases efecto invernadero. La actividad a realizar es garantizar el empleo de biodiesel o similar en la maquinaria y equipos utilizados en el proceso de construcción con el fin de minimizar la contaminación del aire debido a la producción de gases efecto invernadero.

Aplicación

Las estrategias del grupo 8. Construcción, se enfocan en disminuir los impactos generados en el momento de construcción del ciclo de vida, por tanto, es en este momento en el que deben ser evaluadas y verificadas.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio.

La verificación se realiza en la escala de detalle, al ser una actividad tan específica de la obra. El proceso de formación requerido para los trabajadores en esta estrategia hace que sea una actividad con un componente de vinculación social importante, ya que están siendo formados en temas de sostenibilidad, una de las necesidades principales en nuestra sociedad.

Esta acción se relaciona directamente con la (E) Estrategia Municipal de Desarrollo Bajo en Carbono para Cali.

Cumplimiento

La verificación de la estrategia se realiza a través de un documento que presente un registro documental con las facturas de compra del biodiesel para maquinaria y equipos utilizados en la construcción, además debe presentar un estimado con la cantidad de trabajadores a ser formados en sostenibilidad y nuevas tecnologías implementadas.

US.8.5. Limpieza de vehículos a la salida de obra

Descripción

La estrategia pretende controlar la contaminación generada por los vehículos que hacen parte del proceso constructivo, ya que estos al encontrarse en vías destapadas, transportan en las llantas material que se esparce por la vía y posteriormente se convierte en un material particulado grande que se inyecta en el aire. Controlar este impacto permite tener una mejor calidad del aire en el contexto y un entorno sin impactos paisajísticos generados por la obra.

VERSIÓN BORRADOR

Aplicación

Las estrategias del grupo 8. Construcción, se enfocan en disminuir los impactos generados en el momento de construcción del ciclo de vida, por tanto, es en este momento en el que deben ser evaluadas y verificadas. Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio.

La verificación se realiza en la escala de detalle, al ser una actividad tan específica de la obra. El proceso de formación requerido para los trabajadores en esta estrategia hace que sea una actividad con un componente de vinculación social importante, ya que están siendo formados en temas de sostenibilidad, una de las necesidades principales en nuestra sociedad.

Cumplimiento

La verificación de la estrategia se realiza a través de dos elementos, el primero un documento que presente un estimado con la cantidad de trabajadores a ser formados en sostenibilidad y segundo, la planimetría con la intervención realizada en el acceso de la obra para realizar la actividad de limpieza, en el momento de la construcción se debe realizar un registro fotográfico continuo para demostrar la realización de la actividad.

US.8.6. Concepto ambiental de la obra

Descripción

Concepto Ambiental de Obra, que tiene como objetivo identificar los posibles impactos ambientales no previstos y establecer las medidas adecuadas para evitarlos, mitigarlos y controlarlos. Como requisito previo para emitir este concepto, el proyecto debe haber cumplido con todos los trámites ambientales." (Alcaldía de Cali, 2022. Fuente: https://www.cali.gov.co/dagma/publicaciones/132228/control-ambiental-a-obras-de-construccion-en-santiago-de-cali/)

El concepto ambiental se solicita ante la autoridad ambiental del distrito DAGMA, y pretende minimizar, o si es posible, eliminar los impactos ambientales de la obra a desarrollar. Las acciones allí establecidas deberán ser puestas en práctica por el desarrollador para no generar el posible impacto identificado.

Aplicación

Las estrategias del grupo 8. Construcción, se enfocan en disminuir los impactos generados en el momento de construcción del ciclo de vida, por tanto, es en este momento en el que deben ser evaluadas y verificadas.

Tiene aplicabilidad en todas las clases de suelo para los cuales aplica el MCS, al igual que para los climas presentes en el territorio. La verificación se realiza en la escala de urbanismo, ya que analiza el proyecto en su contexto.

Cumplimiento

Para el cumplimiento de la estrategia el desarrollador debe presentar el concepto solicitado a la autoridad ambiental y realizar un registro fotográfico y documental de las actividades solicitadas éste.

VERSIÓN BORRADOR

VERSIÓN BORRADOR

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

SUDS – Urbanístico

TOMO I | Capítulo 2

VERSIÓN BORRADOR

ÍNDICE DE CONTENIDO

TOMO I | Capítulo 2

		Pág.
A.	**CONTEXTO**	69
	- Justificación / problemática. - Antecedentes ciudad de Santiago de Cali. - Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). - Procesos para el manejo de la escorrentía. - Tren de tratamiento. - Objetivos. - Marco normativo.	
B.	**ESCALA DE APLICABILIDAD DEL DRENAJE URBANO SOSTENIBLE.**	95
	- Edificios y propiedades. - Calles. - Espacio abierto.	
2.1.	**ESTRATEGIAS DEL DRENAJE URBANO SOSTENIBLE.**	99
	DU.1. EN LAS VÍAS. DU.1.1. Bordillos de cunetas y andenes. DU.1.2. Alcorques – contenedores de árboles. DU.1.3. Separadores con zanjas filtrantes o canales vegetados. DU.1.4. Andenes con pavimento permeable y/o franjas filtrantes. DU.1.5. Calles estrechas y/o aprovechamiento bahías. DU.1.6. Calles compartidas. DU.1.7. Eco boulevares.	100

		Pág.
	DU.2. ESPACIO ABIERTO. DU.2.1. Áreas de conservación – bosques urbanos. DU.2.2. Parques de tratamiento – humedales artificiales. DU.2.3. Estanques de detención multifuncionales. DU.2.4. Conectar espacios verdes — corredores.	**104**
2.2.	**TIPOLOGÍAS DE SUDS.**	**107**
	- Componentes. - Ventajas y desventajas. - Procesos para el manejo de la escorrentía.	
2.3.	**RECOMENDACIONES DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO.**	**115**
	- Diseño. - Construcción. - Operación y mantenimiento.	
2.4.	**SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.**	**139**
2.5.	**INDICADORES DE BENEFICIOS DE LAS TIPOLOGÍAS DE SUDS.**	**164**
	- Control de la cantidad. - Control de la calidad. - Generación de amenidad. - Contribución a la biodiversidad.	
2.6.	**HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS SUDS.**	**172**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procesos de remoción de acuerdo con los tipos de contaminantes.
Tabla 2. Servicios ecosistémicos.
Tabla 3. Antecedentes y ejemplos de uso de materiales reciclados en tipologías de SUDS.
Tabla 4. Antecedentes normativos Bogotá.
Tabla 5. Barreras que limitan la implementación de SUDS.
Tabla 6. Estrategias para la implementación de SUDS.
Tabla 7. Escalas de estrategias para el manejo de la escorrentía en las áreas de los componentes de un desarrollo urbano.
Tabla 8. Componentes de las tipologías de SUDS.
Tabla 9. Ventajas y desventajas de las tipologías propuestas.
Tabla 10. Reducción de contaminantes objetivo de cada tipología.
Tabla 11. Procesos para el manejo de la escorrentía en las tipologías de SUDS.
Tabla 12. Metodologías para el diseño de las tipologías de SUDS.
Tabla 13. Guía para la selección del tipo de sistema de pavimento.
Tabla 14. Restricciones del sitio para implementación de alcorques.
Tabla 15. Características generales y recomendaciones por pendiente asignadas.
Tabla 16. Parámetros para el diseño de cunetas verdes.
Tabla 17. Principales actividades de operación y mantenimiento.
Tabla 18. Priorización propuesta por calidad.
Tabla 19. Código de restricciones.
Tabla 20. Restricciones para la implementación de tipologías de SUDS.
Tabla 21. Relación entre prácticas, escalas de manejo de la escorrentía y componentes urbanos.
Tabla 22. Áreas para el control de la escorrentía.
Tabla 23. Restricciones en los procesos de manejo de la escorrentía de acuerdo a su origen.
Tabla 24. Indicadores para la evaluación de desempeño en relación con el control de la cantidad.
Tabla 25. Indicadores para la evaluación de desempeño en relación con el control de la calidad.
Tabla 26. Indicadores para la evaluación de desempeño en relación con la generación de amenidad.
Tabla 27. Indicadores para la evaluación de desempeño en relación con la contribución a la biodiversidad.
Tabla 28. Escalas de modelación.
Tabla 29. Herramientas para la modelación del desempeño de las tipologías de SUDS.
Tabla 30. Prácticas y tipologías de SUDS incluidas en herramientas disponibles para la modelación de SUDS.
Tabla 31. Modelación del control de la cantidad y la calidad de la escorrentía.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efectos de la urbanización en el ciclo hidrológico natural.
Figura 2. Principales fuentes y contaminantes en la escorrentía.
Figura 3. Cuencas pluviales del área urbana de Santiago de Cali.
Figura 4. ICA calculado río Lili año 2016.
Figura 5. ICA calculado río Meléndez año 2016.
Figura 6. ICA calculado río Cañaveralejo año 2016.
Figura 7. ICA calculado Canal Interceptor Sur (CIS) año 2016.
Figura 8. Inundación bajo el puente de Chipichape, la foto de la izquierda corresponde al año 1994.
Figura 9. Inundación en la Avenida 4 con calle 52, diciembre 28 de 2020.
Figura 10. Estanque de detención multifuncional en Wisconsin (Estados Unidos).
Figura 11. Comparación entre el sistema convencional y las tipologías de SUDS.
Figura 12. Procesos para el manejo de la escorrentía.
Figura 13. Escalas para el manejo de la escorrentía.
Figura 14. Cuadrado beneficios de SUDS.
Figura 15. Ecopavimento.
Figura 16. Antecedentes normativos nacionales y locales.
Figura 17. Estrategias para el manejo del agua pluvial en función de la escala de aplicabilidad.
Figura 18. Vado con bordillos laterales en un jardín de biorretención.
Figura 19. Vado a la entrada de una estructura de detención.
Figura 20. Alcorque ubicado junto a un jardín de biorretención en Aurora, Illinois (Estados Unidos).
Figura 21. Alcorque en Avenida Tabor — Rincón en Bogotá.
Figura 22. Canal vegetado en Greenfield, Winconsin (Estados Unidos).
Figura 23. Franja filtrante en un andén en Ypsilanti, Michigan (Estados Unidos).
Figura 24. Jardín de biorretención localizado en una extensión de la acera.
Figura 25. Bell Street Park. Calle compartida con jardines de biorretención.
Figura 26. Bulevar con jardín de biorretención en Minneapolis (Estados Unidos).
Figura 27. Área de conservación Charles Sauriol en Toronto, Canadá.
Figura 28. Humedal artificial en Canberra, Australia.
Figura 29. Estanque de detención en el parque Grandview, Waukesha, Wisconsin (Estados Unidos).
Figura 30. Estanque de detención en el Parque San Cristóbal, Bogotá.
Figura 31. Corredor verde Indian Bend Wash en Scottsdale, Arizona (Estados Unidos).
Figura 32. Filtro en sumidero.
Figura 33. Antecámara para disminuir el ingreso de contaminantes al río Menomonee en Milwaukee, Wisconsin (Estados Unidos).

Figura 34. Vado con enrocado como entrada a un estanque de detención en Brown Deer, Wisconsin (Estados Unidos).
Figura 35. Barreras de detención localizadas en un canal vegetado en Milwaukee, Wisconsin (Estados Unidos).
Figura 36. Sistema de salida de un estanque de detención localizado en el parque Ambruster en Greendale, Wisconsin (Estados Unidos).
Figura 37. Estructura de rebose de un jardín de biorretención en Milwaukee, Wisconsin (Estados Unidos).
Figura 38. Tubería de inspección en jardín de biorretención en Detroit, Michigan (Estados Unidos).
Figura 39. Diagrama para la elaboración del hidrograma de diseño.
Figura 40. Diagrama para el uso del Método Racional.
Figura 41. Mapa de distribución espacial de las precipitaciones (Tr 3 años).
Figura 42. Mapa de distribución espacial de las precipitaciones (Tr 5 años).
Figura 43. Mapa de distribución espacial de las precipitaciones (Tr 25 años).
Figura 44. Diagrama para el diseño en zanjas filtrantes.
Figura 45. Diagrama para el diseño de jardines de biorretención.
Figura 46. Ejemplos de capas superiores filtrantes de los sistemas de pavimentos permeables: eco-pavimento con (a) ladrillo triturado (b) neumático reciclado (c) grama.
Figura 47. Diagrama para el diseño de pavimentos permeables.
Figura 48. Diagrama para el diseño de alcorques.
Figura 49. Diagrama para el diseño de franjas filtrantes.
Figura 50. Diagrama para el diseño de canales vegetados.
Figura 51. Diagrama para el diseño de humedales artificiales.
Figura 52. Diagrama para el diseño de estanques multifuncionales.
Figura 53. Esquema de etapas de construcción.
Figura 54. Aproximación recomendada para la selección de estrategias.
Figura 55. Mapa 1: Mapa de amenaza por capacidad red pluvial (Tr 2 años).
Figura 56. Mapa 2: Mapa de amenaza por capacidad red pluvial (Tr 5 años).
Figura 57. Mapa 3: Mapa de amenaza por capacidad red pluvial (Tr 20 años).
Figura 58. Mapa 4: Priorización por amenaza de inundación fluvial y pluvial.
Figura 59. Mapa 5: Priorización por cantidad.
Figura 60. Mapa 6: Mapa de priorización por calidad de agua de acuerdo con la carga de DBO.
Figura 61. Mapa 7: Mapa de priorización por calidad de agua de acuerdo con la carga de SST.
Figura 62. Mapa 8: Mapa de priorización por amenidad.
Figura 63. Mapa 9: Mapa de priorización por biodiversidad.
Figura 64. Mapa 10: Estructura ecológica complementaria.
Figura 65. Mapa 11: Estructura ecológica principal.
Figura 66. Mapa 12: Mapa de restricciones.
Figura 67. Mapa 13: Mapa de recomendaciones para la implementación de SUDS.
Figura 68. Mapa 10: Zonas de descarga y recarga del acuífero.
Figura 69. Jerarquía procesos para el manejo de la escorrentía.

VERSIÓN BORRADOR

A.

Contexto

Justificación / problemática

El crecimiento de las ciudades afecta directamente el ciclo hidrológico natural debido a la impermeabilización de las superficies, lo que puede incrementar los volúmenes y caudales de escorrentía, así como deteriorar la calidad de esta y de los hábitats naturales (Philadelphia Water Department., 2015). Los efectos sobre los cuerpos de agua incluyen pérdida de biodiversidad y funciones ecológicas (Li, Fletcher, Duncan, & Burns, 2017), cambio en propiedades geomorfológicas (Tillinghast, Hunt, & Jennings, 2011), incremento de la contaminación (Che, Zhao, Yang, Li, & Shi, 2014), perdida de amenidad (Che et al., 2014) y aumento de la probabilidad de inundaciones (Che et al., 2014; Kim, Kim, & Demarie, 2017). Adicionalmente, la aproximación tradicional para el manejo del agua incrementa los efectos negativos, ya que se considera el agua pluvial como un residuo que debe ser evacuado rápidamente. De manera que el tratamiento o atenuación de la escorrentía no es una prioridad (Burns, Fletcher, Walsh, Ladson, & Hatt, 2012; Miguez, Rezende, & Veról, 2014).

En la figura 1 se resumen los efectos sobre el ciclo hidrológico natural. El sistema tradicional, compuesto principalmente por tuberías, está asociado con un mayor riesgo de inundaciones debido a que contribuye al incremento del caudal pico y la reducción del tiempo de concentración de las cuencas. A su vez, las tuberías pueden taponarse, lo cual incide en la probabilidad de encharcamientos e inundaciones (Charlesworth, 2017). Otras prácticas tradicionales, como los diques, pueden parecer efectivas para el control de eventos con periodos de retorno altos, pero tienen efectos negativos a nivel social y ambiental debido a los requerimientos para su construcción y operación. Adicionalmente, algunas de estas estrategias no proveen una solución a largo plazo. Por ejemplo, el dragado de canales puede incrementar su capacidad, pero es un proceso costoso cuya efectividad resulta limitada porque la sedimentación continúa ocurriendo después de que se efectúa este procedimiento. A su vez, es posible que el cambio climático afecte los patrones de lluvia y, en general, la absoluta protección ante inundaciones no es posible (Charlesworth, 2017). Por lo que de seguirse una aproximación tradicional para el manejo de la escorrentía, se requerirán cada vez estructuras más grandes y costosas que pueden transferir los problemas de una cuenca urbana a las zonas adyacentes, al aumentar el riesgo de desbordamiento aguas abajo (Charlesworth, 2017).

A su vez, el tratamiento de la escorrentía es clave puesto que las actividades que se desarrollan al interior de la ciudad afectan la calidad del agua pluvial. En esta medida, los distintos usos del suelo determinan el tipo y concentración de diversos contaminantes. Por ejemplo, fenómenos como el primer lavado —el cual corresponde a una mayor concentración de los contaminantes en la

VERSIÓN BORRADOR



Figura 1. *Efectos de la urbanización en el ciclo hidrológico natural.*
Fuente: *Adaptado de Melbourne Water (2020).*

primera fracción de la escorrentía (CIRIA Norfolk Country Council, 2015)- parecen tener una mayor probabilidad de ocurrencia en áreas con mayor grado de urbanización para DQO, DBO, SST, Nitrógeno y Zinc (Pitt et al., 2004). En general, las descargas de agua pluvial a un cuerpo de agua receptor incluyen una mezcla de contaminantes disueltos y particulados provenientes de distintas fuentes, los cuales han sido depositados durante el periodo seco antecedente (Charlesworth, 2017; Lundy, Ellis, & Revitt, 2012). En la figura 2 se presenta la trayectoria de los contaminantes. Los receptores y sumideros corresponden a elementos como vías y alcantarillas en las que puede haber almacenamiento temporal de los contaminantes, lo que es un factor determinante en su transformación antes de ser descargados (Lundy et al., 2012).

Debido a las problemáticas y dinámicas urbanas del agua pluvial, se han desarrollado nuevas aproximaciones para el manejo de la escorrentía, las cuales están orientadas a emular el ciclo hidrológico natural como parte de la gestión de la escorrentía. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) son un ejemplo de esto. Su aplicación depende de la colaboración entre profesionales de distintas áreas, incluyendo ingenieros ambientales, civiles y planeadores urbanos (Fryd, Jensen, Ingvertsen, Jeppesen, & Magid, 2010), lo cual plantea un reto a nivel institucional, técnico y económico para su implementación en diferentes escalas urbanas. Esta interacción entre diferentes actores, junto con su consideración en etapas tempranas de la planeación, es determinante para el desarrollo de un esquema capaz de proveer los beneficios potenciales de estos sistemas (Miguez et al., 2014).

VERSIÓN

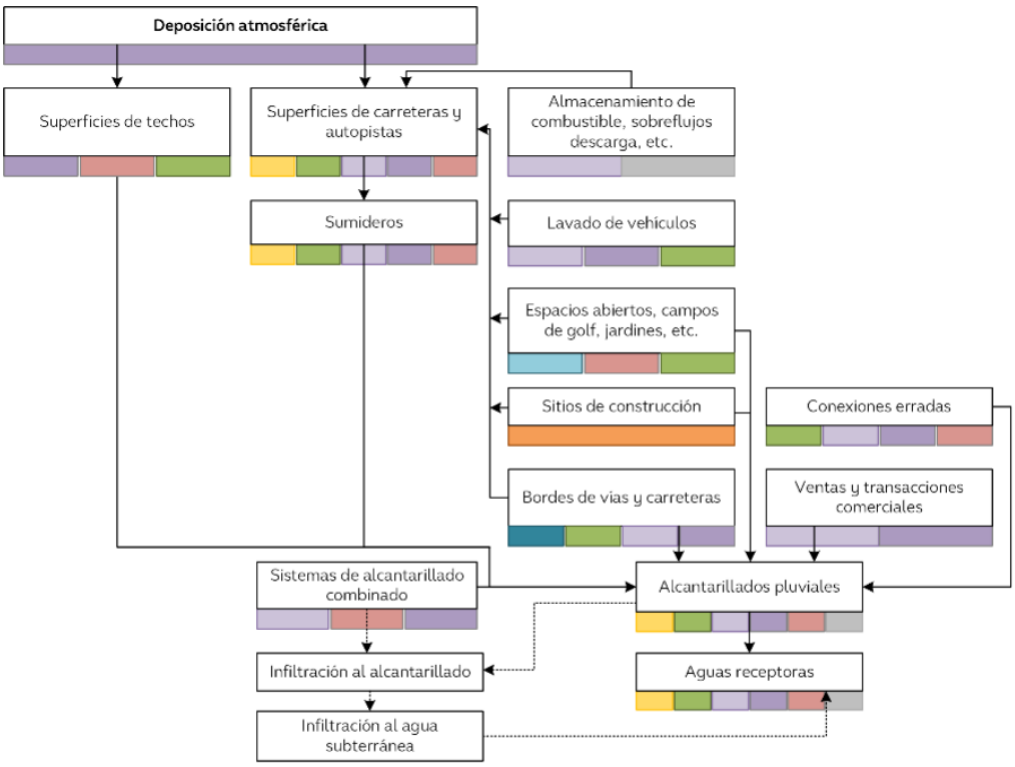


Figura 2. *Principales fuentes y contaminantes en la escorrentía.*
Fuente: *Adaptado de Lundy et al. (2012)*

VERSIÓN BORRADOR

Antecedentes ciudad de Santiago de Cali

La mayor parte del sistema de drenaje de la ciudad es combinado, pero se cuenta con un sistema separado en algunos tramos. El sistema de drenaje se compone de tres subsistemas correspondientes al sistema sur, sistema oriental y sistema noroccidental. Parte del sistema funciona por gravedad y una parte por bombeo (Superservicios, 2018). Adicionalmente, se cuenta con dos estructuras de almacenamiento que funcionan como alivios, correspondientes a la Laguna Charco Azul y la Laguna Pondaje (Superservicios, 2018). Otros elementos relevantes del sistema que contribuyen a la detención temporal de la escorrentía y sedimentación son: (a) las estructuras de retención de sedimentos y laminación de caudales en la Quebrada Chipichape, (b) el embalse seco sobre el cauce del río Cañaveralejo, (c) el embalse en la Estación de Bombeo de Floralia, la zona de Amortiguación Colector Pluvial Las Vegas y Colectores Comfandi, (d) las trampas de sedimentos en el Interceptor Oriental del Alcantarillado Pluvial, y (e) los humedales de la ciudad (IGEI, 2020).

Los cuerpos de agua principales de la ciudad corresponden al río Cauca y sus ríos tributarios, los cuales drenan de occidente a oriente y se denominan Lili, Meléndez, Cañaveralejo, Cali y Aguacatal (IGEI, 2020). En la figura 3 se presentan las cuencas pluviales del área urbana y los ríos principales. El área de las cuencas Lili, Meléndez, Cañaveralejo corresponde a la mayor parte de las comunas del área urbana de Santiago de Cali (Consorcio Ecoing, 2018). Adicionalmente, las comunas 1 y 2 hacen parte de las cuencas de los ríos Cali y Aguacatal (DAGMA, 2007). Existen vertimientos de aguas residuales en ríos como Cañaveralejo y Lili que afectan de distinta manera la calidad del agua de estos ríos. Cabe destacar que mediciones del año 2016 en los

ríos Cañaveralejo y Meléndez presentan una condición aceptable o regular, de acuerdo con el índice de calidad del agua (ICA), cuando ingresan a la ciudad. Como se presenta en la figura 5 y la figura 6 la calidad se deteriora a regular a mala antes de la desembocadura (Consorcio Ecoing, 2018). De manera similar, en el interceptor Sur — el cual recibe las descargas del Cañaveralejo, Melendez y Lili — se presentan valores regulares y malos del índice ICA, como se evidencia en la figura 7. Por otro lado, en el río Lili el valor del ICA en el segundo punto de medición (ver figura 4) indica mala calidad debido a los vertimientos en el área rural y esta cambia a regular antes de su desembocadura en el interceptor Sur (Consorcio Ecoing, 2018).

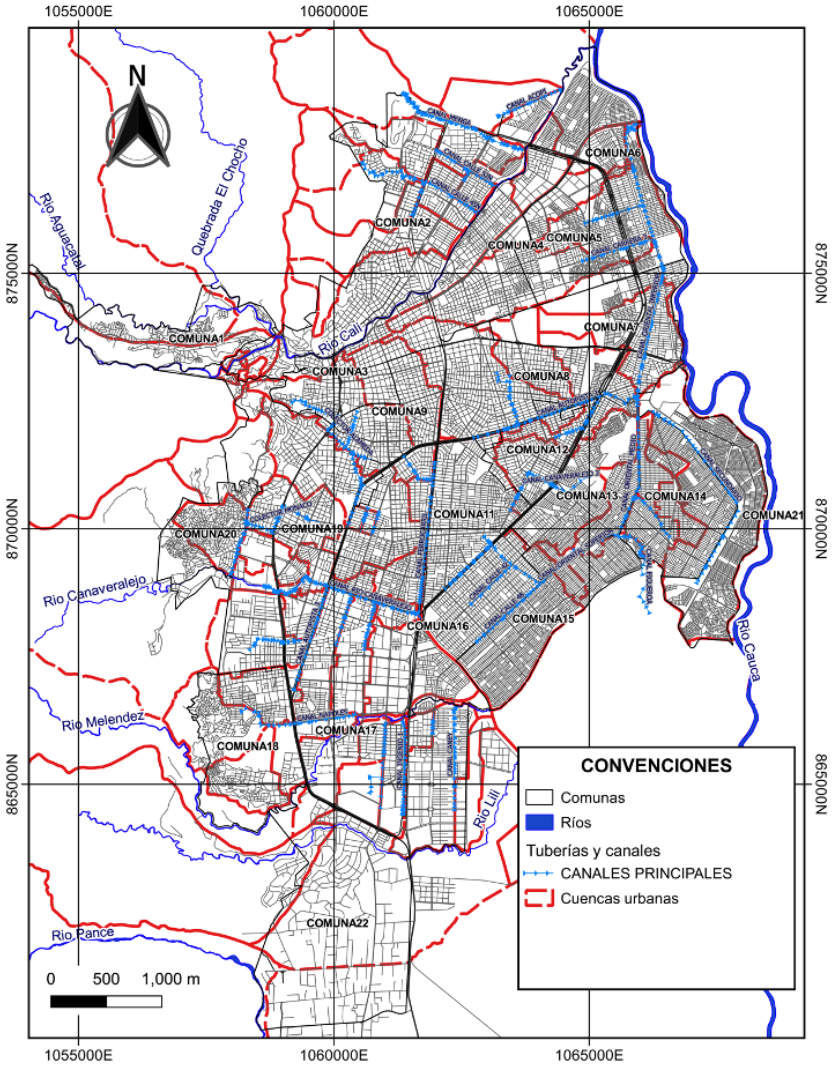


Figura 3. *Cuencas pluviales del área urbana de Santiago de Cali.*
Fuente: *Elaborado a partir de EMCALI (2018c); IDESC (2014); IGEI (2020)*

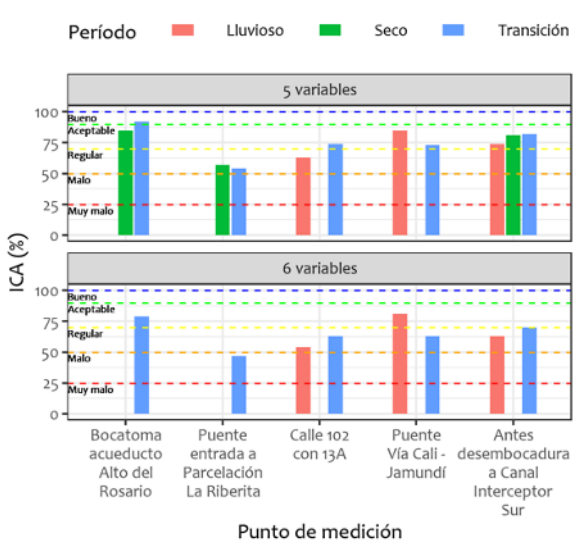


Figura 4. *. ICA calculado río Lili año 2016.*
Fuente: *Elaborado a partir de Consorcio Ecoing (2018)*

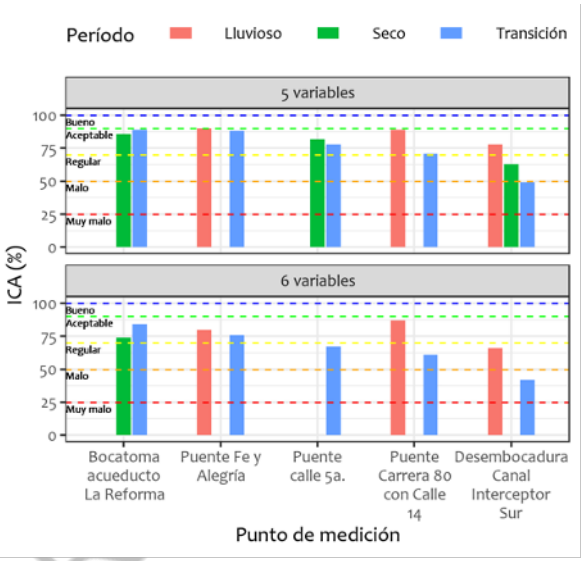


Figura 5. *ICA calculado río Meléndez año 2016.*
Fuente: *Elaborado a partir de Consorcio Ecoing (2018)*

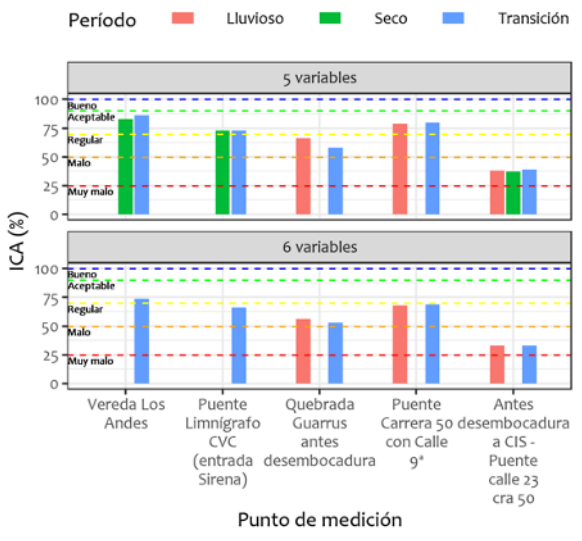


Figura 6. *ICA calculado río Cañaveralejo año 2016.*
Fuente: *Elaborado a partir de Consorcio Ecoing (2018)*

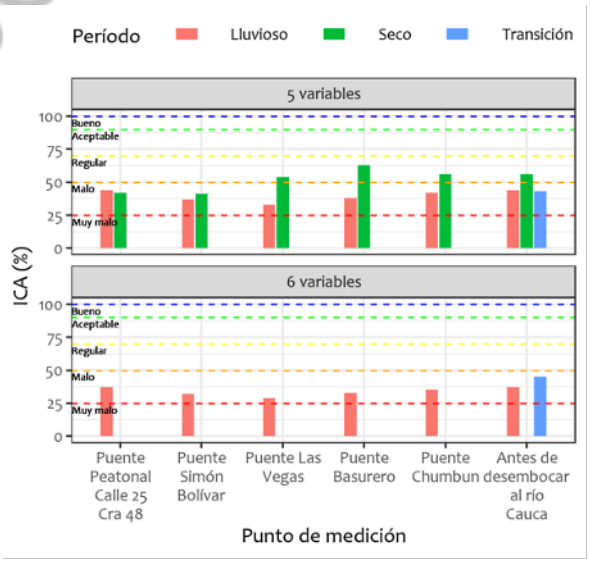


Figura 7. *ICA calculado Canal Interceptor Sur (CIS) año 2016.*
Fuente: *Elaborado a partir de Consorcio Ecoing (2018)*

El crecimiento de la ciudad de Santiago de Cali estuvo determinado por el programa de obras hidráulicas desarrollado entre 1958 y 1961, y complementadas a inicio de la década de 1980. Este involucró la construcción del dique que protege la ciudad, lo que permitió la ocupación de terrenos de la zona oriental en los que se presentaban inundaciones periódicas por el río Cauca. Posteriormente, hacia 1990 la construcción de vivienda informal incluyó los diques del río Cauca (Jiménez, Burbano, & Velásquez, 2015). Esto no constituyó un fenómeno aislado puesto que durante el crecimiento de Santiago de Cali se ocuparon varias áreas con amenaza de inundación o de deslizamiento (Jiménez et al., 2015). Por ejemplo, entre los años 1998 a 2015 el 46.2% del crecimiento poblacional tuvo lugar en comunas adyacentes al rio Cauca y su antigua llanura de inundación. Por este motivo el rio Cauca corresponde a una amenaza considerable para la ciudad (Jiménez et al., 2015). En ese contexto se han propuesto distintos planes para disminuir la vulnerabilidad de la población. Particularmente la ola invernal que tuvo lugar entre 2010-2012 llevó al desarrollo de un plan estructurado para mitigar el riesgo, correspondiente al proyecto "Plan Jarillón" de Santiago de Cali (Jiménez et al., 2015).

En la ciudad existen distintos sectores en los que se presentan problemas periódicos de inundaciones debido a las características de la urbanización y del sistema de drenaje. Esto incluye factores como la impermeabilización de las superficies, la construcción sobre zonas de ronda hidráulica, la insuficiente capacidad del sistema de drenaje, y la acumulación de residuos en tuberías, canales y espacio público (Mera, 2018). En total se han identificado 34 puntos críticos por inundación pluvial (IGEI, 2020). Uno de estos puntos corresponde al puente de Chipichape (figura 8) para el cual se ha propuesto soluciones, como almacenamientos subterráneos, pero no se han ejecutado (Mera, 2018). Recientemente, en febrero de 2020, se presentaron inundaciones

EN BORRADOR



Figura 8. *Inundación bajo el puente de Chipichape, la foto de la izquierda corresponde al año 1994.*
Fuente: *Tomado de Mera (2018).*

en varios sectores, incluidos Chipichape, San Nicolás, Obrero e Industrial. En este caso se resaltó como causa la presencia de residuos sólidos en los sumideros, lo que indica que el problema por el manejo de la escorrentía se debe tanto a la insuficiente capacidad de la infraestructura como a la relación de los habitantes con el sistema de drenaje (El País, 2020a). A su vez, en el mes de diciembre se presentaron inundaciones en las vías como resultado de eventos de precipitación (El País, 2020b). La figura 9 evidencia una inundación que tuvo lugar el 28 de diciembre de 2020 en uno de los puntos críticos identificados en la ciudad. En el Anexo 1 se presentan eventos de inundaciones que han ocurrido la ciudad, adicionalmente se relacionan con las precipitaciones probables a las que pueden estar asociados estos eventos.

Adicional a los retos actuales que enfrenta la ciudad en cuanto al manejo del agua, se han previsto cambios en el régimen de precipitación que podrían incrementar la incidencia de enfermedades respiratorias y dengue, así como mayores daños por eventos como inundaciones y deslizamientos (Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) & Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), 2015). A su vez, se han pronosticado pérdidas en la capacidad de regulación hídrica de las cuencas, lo cual afectaría el agua disponible para consumo humano y para los sectores productivos (Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) & Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), 2015). De manera que los SUDS corresponden a una oportunidad para mejorar las condiciones locales, conservar áreas naturales y aumentar la resiliencia frente al cambio climático.

El uso eficiente de los sistemas depende de su integración en las distintas escalas de tratamiento de la escorrentía, considerando espacios públicos y privados e incluyéndolos en etapas tempranas del diseño de áreas construidas.

VERSIÓN BORRADOR



Figura 9. *. Inundación en la Avenida 4 con calle 52, diciembre 28 de 2020.*
Fuente: *Cortesía de Cristian Hamon*

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

Los SUDS corresponden a medidas estructurales y no estructurales complementarias al sistema de drenaje pluvial convencional, los cuales buscan replicar las dinámicas del ciclo hidrológico natural (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Incluye medidas superficiales y subterráneas, las cuales se diseñan para manejar y usar el agua pluvial cerca del sitio donde se genera. A su vez, estos sistemas proveen beneficios adicionales debido a componentes como la vegetación y prácticas como el almacenamiento superficial del agua (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Por ejemplo, los estanques de detención multifuncionales (ver figura 10) proveen almacenamiento temporal de la escorrentía y pueden emplearse para recreación pasiva entre eventos de lluvia. Existen otros términos para referirse a estrategias con objetivos similares: desarrollo de bajo impacto (LID), desarrollo y diseño urbano de bajo impacto (LIUDD), diseño urbano sensible al agua (WSUD), manejo integrado del agua urbana (IUWM), mejores prácticas de gestión (BMP), medidas de control del agua lluvia (SCM), infraestructura verde (GI) y ciudades esponja (Chan et al., 2018; Fletcher et al., 2015). En algunos casos estos términos se refieren a una metodología para el manejo integrado del agua en las ciudades (i.e., IUWM) y en otros se hace únicamente referencia a las técnicas para el control de la escorrentía (i.e., SCM) (Fletcher et al., 2015). Sin embargo, en cada una de estas los principios para el manejo de la escorrentía son similares.

Bajo la aproximación de los SUDS la escorrentía constituye un recurso, por lo que se prioriza el manejo de la escorrentía en la fuente y de manera superficial, así el fomento de procesos que contribuyen al equilibrio hidrológico de la cuenca (p. ej., infiltración y la evapotranspiración). Adicionalmente, se busca reducir la velocidad de la escorrentía y promover su almacenamiento temporal. Así como mejorar la calidad del agua pluvial a través de la prevención de la contaminación a partir de prácticas no estructurales y el tratamiento de la escorrentía (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Estos sistemas pueden incrementar la resiliencia puesto que en caso de eventos que excedan la capacidad de diseño del sistema convencional la escorrentía de exceso puede ser manejada de manera segura a partir de procesos superficiales de transporte y almacenamiento. Adicionalmente, esto permite un mayor entendimiento y preparación ante las inundaciones en comparación con el manejo subterráneo del agua pluvial, en la que los procesos no son visibles (ver figura 11). En general, estos sistemas suelen ser más flexibles y presentan mayores posibilidades de adaptación a costos menores que los de un sistema convencional (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).



Figura 10. *Estanque de detención multifuncional en Wisconsin (Estados Unidos)*
.***Fuente:*** *Volkening, 2012d*

VERSIÓN BORRADOR

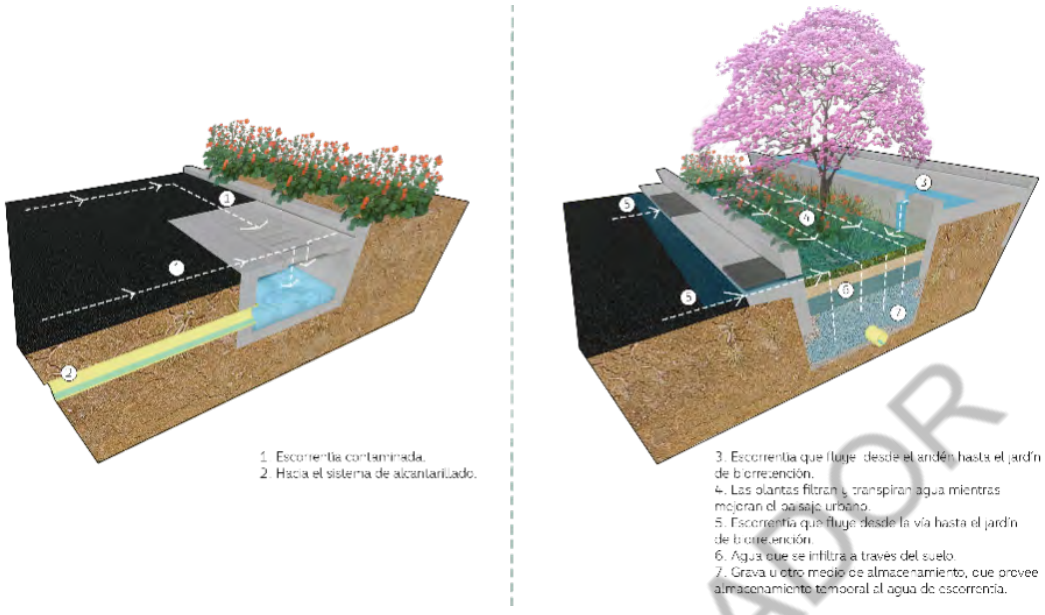


Figura 11. *Comparación entre el sistema convencional y las tipologías de SUDS.*
Fuente: *Adaptado de Luoni et al. (2010) y City of Philadelphia. (2014)*

VERSIÓN BORRADOR

Procesos para el manejo de la escorrentía

El manejo de la escorrentía mediante tipologías de SUDS involucra distintos procesos, algunos de los cuales emulan el ciclo hidrológico natural. Algunos de estos procesos se presentan en la figura 12. En términos generales la escorrentía puede ser aprovechada, conducida, almacenada, tratada y/o atenuada. Una tipología de SUDS puede realizar uno o más de estos procesos. A su vez, el desempeño varía de acuerdo con las características de la tipología y las condiciones locales (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Por este motivo, el manejo eficiente de la escorrentía depende de la combinación de procesos mediante el uso de distintas tipologías y la identificación de los procesos que pueden tener lugar dadas las restricciones y requerimientos de un sitio. Los procesos para el manejo de la escorrentía son:

Aprovechamiento, conducción, almacenamiento/detención, tratamiento, procesos físicos, y atenuación de volumen y caudal de escorrentía.

Aprovechamiento

Corresponde a la captura de escorrentía para emplearla en usos no potables como descarga de sanitarios y riego (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Por lo general implica el uso de un tanque de almacenamiento.

Conducción

Mediante este proceso la escorrentía es transportada a aguas abajo a sistemas de tratamiento y/o almacenamiento (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Las cunetas vegetadas son las tipologías típicamente usadas para llevar a cabo este proceso.

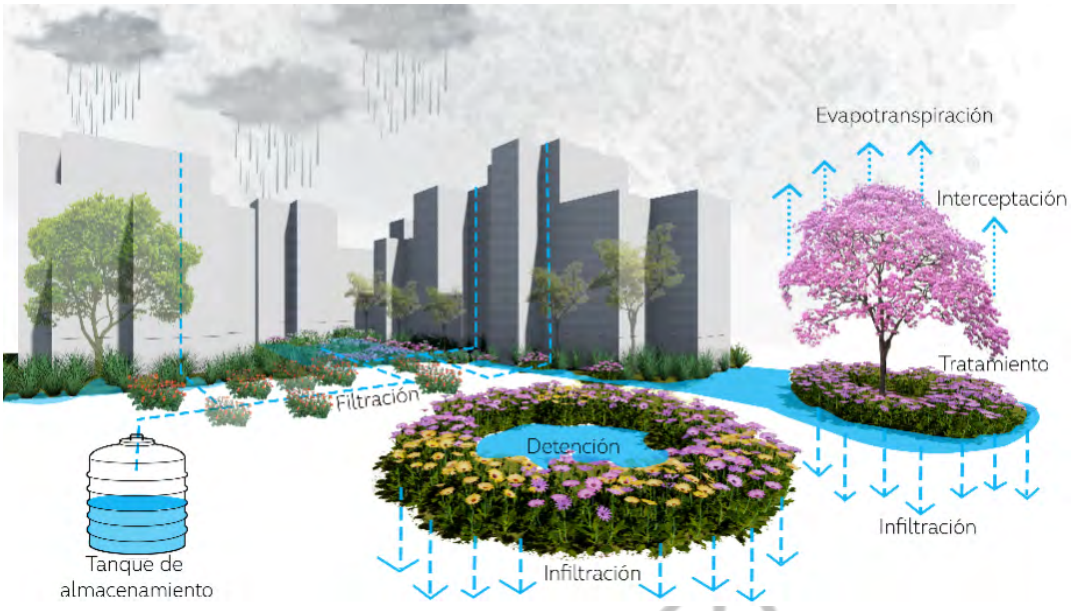


Figura 12. *Procesos para el manejo de la escorrentía. Adaptado de Luoni et al. (2010)*
Fuente: *Adaptado de Luoni et al. (2010)*

Almacenamiento/ Detención

Es la captura y detención temporal de la escorrentía para descargarla lentamente con el objetivo de reducir su caudal (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Como resultado de este proceso se disminuye el impacto de la escorrentía en los cuerpos de agua receptores y el riesgo de inundaciones (Department of Water & Swan River Trust., 2007).

Tratamiento

Corresponde a remover o favorecer la degradación de contaminantes presentes en la escorrentía (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Los procesos de tratamiento pueden ser físicos, químicos, o biológicos. El desempeño de las tipologías de SUDS depende de factores como los contaminantes a remover (ver tabla 1) y el control hidráulico de la escorrentía, principalmente del control de la velocidad y el tiempo de retención (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Esto se debe a que se requieren bajas velocidades del agua para que procesos como la sedimentación y la filtración tengan lugar para eventos de lluvia frecuentes. A su vez, la efectividad de la sedimentación y adsorción depende del tiempo en el que la escorrentía este almacenada o este en contacto con el medio de tratamiento. El cual puede corresponder a la superficie vegetada de una cuneta o a un medio de filtración. Adicionalmente, las características del medio filtrante son determinantes en el tratamiento de la escorrentía, así como el adecuado mantenimiento de las tipologías de SUDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Procesos físicos

Los procesos físicos son aquellos en los que para la separación de los contaminantes no es necesaria su transformación, incluyen filtración, sedimentación y separación. Mediante estos se remueven sólidos y contaminantes que estén unidos a estos (Department of Water & Swan River Trust., 2007).

- Filtración gruesa: es la remoción física o retención de sedimentos y solidos gruesos

VERSIÓN BORRADOR

Contaminantes	Tratamiento									
	Procesos físicos				Procesos biológicos			Procesos químicos		
	Filtración gruesa	Filtración y biofiltración	Sedimentación	Separación	Biodegradación	Nitrificación/ Desnitrificación	Captación por la vegetación	Adsorción/ absorción	Precipitación	Volatilización
Nutrientes		●3*	●1*		●1	●1	●2,3	●3*		
Sedimentos**	●4***	●1,3	●1					●3		
Hidrocarburos		●1		●2	●1			●1		
Metales		●1	●1				●1	●1	●1	
Pesticidas					●1			●1		●1
Residuos sólidos	●1***									
Materia orgánica		●1,3	●1,3		●1,3		●3	●3		
Coliformes fecales		●3	●3		●3			●3		

● *Proceso asociado con la remoción.*
** Mayor efectividad en la remoción de fosfatos3.*
***Depende de su retiro durante el mantenimiento regular.*
****Para sedimentos de mayor tamaño (>5 mm)*

Tabla 1. *Procesos de remoción de acuerdo con los tipos de contaminantes*
Fuente: *4. 1Woods Ballard et al. (2007). 2CIRIA Norfolk Country Council (2015). 3Scholes, Revitt, & Ellis (2008). 4Greater Adelaide Region (2010)*

VERSIÓN BORRADOR

a medida que la escorrentía pasa a través de una tipología de SUDS. Este proceso ocurre, en canales vegetados y estructuras de pretratamiento como franjas filtrantes (Urban Drainage and Flood Control District, 2010).

- Filtración y biofiltración: en este proceso el mecanismo principal es el tamizaje, mediante el cual las partículas suspendidas son atrapadas por el medio (Erickson, Weiss, & Gulliver, 2013). Este proceso puede tener lugar por la captura del suelo o la matriz de agregados, entre otros componentes (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Otros procesos físicos y químicos pueden ocurrir simultáneamente dependiendo del medio filtrante. Por ejemplo, componentes solubles pueden ser absorbidos en el suelo mientras la escorrentía se infiltra en este (Urban Drainage and Flood Control District, 2010). Por lo general es necesario balancear la eficiencia de la remoción con el potencial riesgo de bloqueo del componente filtrante. En todo caso, estrategias como pretratamiento y el uso de plantas pueden minimizar el riesgo de bloqueo (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

- Sedimentación: corresponde al proceso primario de retención de contaminantes en varias estructuras para el manejo del agua pluvial (CIRIA Norfolk Country Council, 2015; Erickson et al., 2013), particularmente en las estructuras de SUDS que almacenan y liberan lentamente la escorrentía (Urban Drainage and Flood Control District, 2010).

  Este proceso se logra a partir de la reducción de la velocidad del flujo, de manera que las partículas sedimentables salgan de la suspensión o se promueva la floculación. Es decir, la detención por largos periodos de tiempo permite que las partículas más pequeñas se aglomeren constituyendo partículas más grandes y fácilmente sedimentables, a su vez algunos contaminantes disueltos y en estado líquido pueden ser adsorbidos por las partículas suspendidas (Urban Drainage

and Flood Control District, 2010). Para el adecuado funcionamiento de las estructuras es necesaria la remoción periódica de los sedimentos acumulados.

Adicionalmente, mediante el diseño es importante minimizar el riesgo de resuspensión en eventos de precipitación extrema (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

- Separación: La separación permite el manejo de hidrocarburos y otros contaminantes que flotan en la superficie del agua. Estos pueden ser removidos mediante un proceso de separación o atrapados por la vegetación. Lo anterior permite su degradación posterior mediante procesos como la volatilización y fotólisis (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Procesos químicos

Incluye procesos como adsorción química, precipitación y volatilización (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Estos pueden emplearse para remover contaminantes disueltos y son particularmente relevantes para metales y fosfatos (Erickson et al., 2013).

- Adsorción y absorción: Los procesos de adsorción y absorción involucran la interacción de los constituyentes del agua con los materiales circundantes. Estos sistemas tienen gran importancia en tipologías como los humedales artificiales, pondajes húmedos y jardines de biorretención. Factores como el pH, la temperatura y estado iónico afectan el equilibrio químico en los SUDS y, por lo tanto, la efectividad de la adsorción y la absorción para la remoción de contaminantes. La absorción corresponde a la incorporación de una sustancia a otra en un estado distinto, por ejemplo cuando un líquido es absorbido por un sólido (Urban Drainage and Flood Control District, 2010). La adsorción puede ser un proceso químico o físico dado que es la adherencia física o enlace de iones y moléculas en la superficie de otra molécula (Urban Drainage and Flood Control District, 2010). En este proceso los contaminantes se unen a la superficie de sedimentos, suelo, arena, agregado o materiales artificiales (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Por lo general, metales pesados como el plomo y nutrientes como el fosforo son adsorbidos en el sedimento (Department of Water & Swan River Trust., 2007).

- La adsorción es el resultado de una combinación de reacciones en la superficie, por lo que factores como la acidez de la escorrentía pueden favorecer o limitar su ocurrencia. Adicionalmente, este método puede dejar de ser efectivo con el tiempo debido a que los materiales en los cuales los contaminantes son adsorbidos se saturan a menos de que haya mecanismos de regeneración (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Este proceso permite remover iones metálicos o hidróxidos los cuales se unen a superficies adsorbentes cargadas negativamente. El cadmio, cobre y zinc disuelto pueden ser removidos de la escorrentía mediante adsorción con materiales orgánicos (p.ej., compost). En ese caso se depende de grupos funcionales como el carboxilo, así como las moléculas a las cuales está unido y el pH (Erickson et al., 2013).

- Por otro lado, el fosfato disuelto en la escorrentía infiltrada puede precipitarse y ser adsorbido por las partículas del suelo. Existen alternativas para mejorar la remoción de fosfato en las tipologías de SUDS. Por ejemplo, se pueden emplear agentes de estropajo de acero o hierro elemental mezclado con el medio en los filtros de arena. Esto permite la formación de óxidos de hierro, los cuales se unen al fosfato por adsorción superficial y son retenidos en el filtro (Erickson et al., 2013).

- Precipitación: Corresponde a un proceso común para la remoción de metales solubles. Tiene lugar a partir de reacciones químicas

VERSIÓN BORRADOR

entre contaminantes y compuestos del suelo o el medio filtrante, los cuales transforman compuestos disueltos en partículas de precipitados insolubles. Dependiendo de los precipitantes presentes y el nivel de pH se forman precipitados como hidróxidos, sulfuros y carbonatos (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

- Volatilización: Mediante este proceso se transfiere un compuesto sólido o en solución a la atmósfera. Esta conversión a gas o vapor esta mediada por factores como la temperatura, reducción de la presión y reacciones químicas. La tasa de volatilización de un compuesto depende de su presión de vapor, así como de las características del suelo circundante. Este proceso puede ser problemático cuando ocurre en compuestos orgánicos asociados con productos de petróleo y pesticidas, lo que corresponde a una de las principales preocupaciones en las tipologías de SUDS cuando hay presencia de estas sustancias en la escorrentía (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Procesos biológicos

Los procesos biológicos son llevados a cabo por microorganismos y vegetación presente en las tipologías de SUDS. Incluye biodegradación, nitrificación, desnitrificación, así como captación de nutrientes y metales por parte de la vegetación.

- Biodegradación: corresponde a la respiración microbiana en la cual la materia orgánica es oxidada a CO2 (Erickson et al., 2013). Esto es posible debido a que comunidades microbiológicas se establecen dentro del suelo o la matriz de agregados y son capaces de degradar contaminantes orgánicos como aceites y grasas.

  Factores ambientales, como la temperatura, y la disponibilidad de oxígeno y nutrientes afectan el desarrollo del proceso. A su vez, la idoneidad de los materiales para ser colonizados por microorganismos es determinante (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

- Nitrificación y desnitrificación: Mediante la nitrificación iones de amonio y amoniaco son oxidados por las bacterias en suelo para formar nitrato, el cual es un compuesto que puede ser usado por las plantas como nutriente. Por lo otro lado, la desnitrificación ocurre por acción de bacterias anaeróbicas en condiciones con limitaciones de oxígeno. En este caso, la acción de distintos tipos de bacterias puede llevar a la reducción de nitratos a nitrógeno molecular (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Este proceso se da por lo general en los sedimentos y requiere una fuente de materia orgánica (Erickson et al., 2013). Es particularmente relevante en los sitios en los que el exceso de nitrato puede amenazar la calidad del agua subterránea o eutrofizar aguas superficiales (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

- Captación por la vegetación: Este proceso tiene lugar en las tipologías que incluyen vegetación, como los pondajes, humedales, jardines de biorretención y canales vegetados. Las plantas asimilan nutrientes durante el crecimiento y mediante el proceso de fotosíntesis convierten el dióxido de carbono, nitrato, fosfato y agua en oxígeno (Erickson et al., 2013). En pondajes y humedales este es un mecanismo de remoción importante para nutrientes (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Las plantas acuáticas enraizadas obtienen la mayoría de los nutrientes de los sedimentos durante el crecimiento. Posteriormente, cuando se descomponen los nutrientes son liberados en días o semanas. Una porción de los nutrientes no es liberada y se convierte en parte de los sedimentos en los cuales se da un proceso lento de descomposición (Erickson et al., 2013). Adicionalmente, los metales pueden ser removidos por las plantas pero es importante realizar mantenimiento intermitente para retirar las plantas y evitar

VERSIÓN BORRADOR

que los metales regresen al agua después de que las plantas mueran (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). A su vez, las plantas pueden crear condiciones para depositar metales (p.ej., sulfuros) en la zona radicular y proveer un ambiente microbiológico para soportar la biodegradación de contaminantes orgánicos (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Adicionalmente, algunos procesos biológicos pueden reducir la toxicidad de ciertos contaminantes y sus posibles efectos en especies acuáticas (Urban Drainage and Flood Control District, 2010).

Atenuación de volumen y caudal de escorrentía

La atenuación de volumen y caudal se da mediante una serie de procesos hidrológicos como la infiltración y la evapotranspiración. La reducción de volúmenes provee beneficios hidrológicos y de control de la contaminación, ya que menores volúmenes corresponden a menores cargas contaminantes (Urban Drainage and Flood Control District, 2010).

Infiltración

Constituye el mecanismo principal para la reducción de volúmenes de escorrentía. Corresponde al flujo de agua en la tierra el cual puede llegar hasta el nivel freático o moverse lateralmente como flujo subsuperficial (Erickson et al., 2013). Mediante este mecanismo se soporta el flujo base y los procesos de recarga del agua subterránea. Este proceso depende de la capacidad de infiltración del medio circundante (CIRIA Norfolk Country Council, 2015), los componentes del sistema (p.ej., existencia de un drenaje subsuperficial) y las características del medio (Urban Drainage and Flood Control District, 2010). Adicionalmente se asocia con procesos de tratamiento como filtración y sorción (Urban Drainage and Flood Control District, 2010).

Interceptación

Este proceso es llevado a cabo por el follaje de las plantas y es particularmente relevante durante el proceso de precipitación. Las pérdidas totales por intercepción resultan del agua almacenada en el follaje y evaporada de la superficie de la vegetación. Estas pérdidas varían de acuerdo con las características de los árboles (p.ej., tamaño, especie y características de las hojas), la relación con el entorno y las condiciones meteorológicas. En general, la intensidad, duración y el tiempo entre eventos de precipitación son características determinantes. Por ejemplo, algunos estudios han establecido que las pérdidas son más altas para eventos de precipitación pequeños con periodos largos entre tormentas. Este proceso protege la calidad del agua, ya que reduce el volumen de escorrentía así como la erosión del suelo y el lavado de contaminantes (Berland et al., 2018)

Evapotranspiración

Corresponde a la combinación de los procesos de evaporación y transpiración, lo cual ocurre en SUDS vegetados (Urban Drainage and Flood Control District, 2010). De manera que incluye la perdida de volumen de agua por evaporación en superficies de agua y poros en la capa superior del suelo, así como perdidas por transpiración en plantas (Strecker, Sheffield, Cristina, & Leisenring, 2010). Las tasas de evapotranspiración dependen del área superficial expuesta, las características del suelo, la cantidad y tipo de vegetación, así como las condiciones meteorológicas prevalentes (Strecker et al., 2010). Si bien el impacto de este proceso durante un evento de precipitación no es significativo, la reducción de volumen anual en tipologías como los humedales artificiales puede ser alta. Puesto que la evapotranspiración reduce la cantidad de agua en la piscina permanente, lo cual provee almacenamiento adiciona para eventos posteriores de precipitación (Urban Drainage and Flood Control District, 2010).

VERSIÓN BORRADOR

Tren de tratamiento

Los trenes de tratamiento corresponden a configuraciones de tipologías de SUDS en serie con el objetivo de tener un mejor desempeño global (Department of Water & Swan River Trust., 2007; Urban Drainage and Flood Control District, 2010). Son un concepto central en la implementación de SUDS, debido a que las tipologías de SUDS no deben ser implementadas como componentes independientes sino como parte de un sistema para el manejo de la escorrentía (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Esto provee beneficios en la operación de los sistemas y en el desarrollo de actividades de mantenimiento. Por ejemplo, disponer múltiples etapas para la remoción de contaminantes permite que se lleven a cabo procesos complementarios para la remoción de un rango más amplio de contaminantes. A su vez, este esquema provee redundancia, es decir el impacto de la falla de un elemento se reduce gracias a la operación de los otros componentes del tren.

En cuanto al impacto sobre las actividades de mantenimiento, esto es resultado de la remoción de basura y sólidos gruesos en la primera etapa del tren. Lo cual permite concentrar las actividades de limpieza en un área definida y pequeña y minimizar la frecuencia en el mantenimiento de los otros componentes. Adicionalmente, se reduce el potencial de obstrucciones y colmatación en componentes aguas abajo por la acumulación de basura y sedimentos (Urban Drainage and Flood Control District, 2010).

Así mismo, el uso de trenes de tratamiento permite conformar corredores verdes estableciendo enlaces entre hábitats para proveer beneficios adicionales en cuanto a educación, biodiversidad y generación de amenidad (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

El uso de trenes de tratamiento involucra distintas escalas para el manejo de la escorrentía, lo que incluye control en la fuente, control en el sitio y control regional (Charlesworth, 2017), como se resume en la figura 13. El control en la fuente corresponde al manejo de la escorrentía en el punto en el que se produce. Esto reduce la probabilidad de contaminación en el sistema de drenaje y permite controlar la cantidad y calidad del agua que ingresa a los cuerpos de agua receptores lo que contribuye a su uso posterior aguas abajo (Charlesworth, 2017).

Las tipologías correspondientes a esta escala desarrollan procesos de intercepción y tratamiento primario (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Algunos ejemplos de estas estructuras son los jardines de biorretención y las franjas filtrantes. El control en el sitio corresponde a una etapa secundaria o terciaria de tratamiento. En este se lleva a cabo el almacenamiento de la escorrentía proveniente de estructuras para el control en la fuente. Los estanques de detención pueden ser empleados en esta escala (Charlesworth, 2017). El control regional corresponde a la etapa final de tratamiento antes de descargar la escorrentía en el cuerpo de agua receptor. Usualmente, los sistemas que se incluyen en esta escala presentan distintos componentes para la creación de hábitats (Charlesworth, 2017).

Adicionalmente, para el establecimiento de un tren se deben considerar las estructuras de conducción, las cuales usualmente corresponden a cunetas vegetadas y proveen beneficios adicionales dependiendo de la vegetación utilizada (Charlesworth, 2017).

VERSIÓN BORRADOR

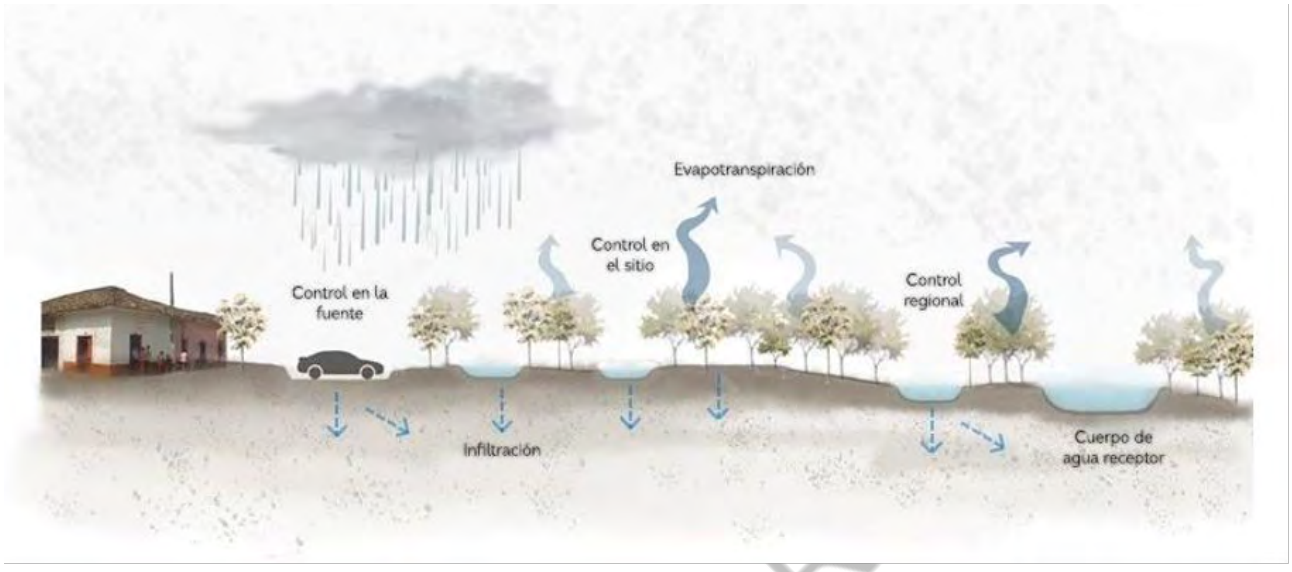


Figura 13. *Escalas para el manejo de la escorrentía.*
Fuente: *Adaptado de Susdrain (2020)*

Objetivos

Los objetivos de implementación están en función de los beneficios de los SUDS. Estos a su vez están relacionados con la provisión de servicios ecosistémicos. A continuación, se presentan en detalle. La implementación de SUDS puede estar ligada a múltiples beneficios debido a que estos sistemas buscan emular el ciclo hidrológico natural, lo que disminuye impactos y riesgos asociados a la cantidad y calidad de la escorrentía (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). A su vez, pueden contribuir a la calidad de

Beneficios generales y servicios ecosistémicos

vida dado que es posible incrementar la amenidad de un área a través de estos sistemas, los cuales permiten mejorar la calidad del agua, regular la temperatura de las áreas construidas, reducir el ruido y proveer oportunidades para la recreación y la educación (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). En la figura 14 se resumen las principales categorías de los beneficios de SUDS, las cuales son usualmente referidas como los pilares de diseño de estos sistemas (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

VERSIÓN BORRADOR

Estos beneficios están relacionados con la provisión de servicios ecosistémicos, los cuales corresponden a beneficios para el ser humano provistos por los ecosistemas naturales. Pueden clasificarse en servicios de provisión, regulación, culturales y de soporte (Charlesworth, 2017). En la tabla 2 se resumen los principales servicios y relación con las tipologías de SUDS. En general la contribución potencial de cada tipología a los servicios ecosistémicos depende de los componentes y procesos para el manejo de la escorrentía. Por ejemplo, el potencial de provisión de servicios de los humedales artificiales puede ser alto debido a los diferentes tipos de vegetación que los componen puesto que esto permite realizar un mayor tratamiento de la escorrentía, así como crear hábitats y espacios para la recreación y la educación. En comparación, tipologías como los pavimentos permeables tienen un menor potencial debido a que la ausencia de vegetación limita la prestación de servicios de soporte (Charlesworth, 2017).

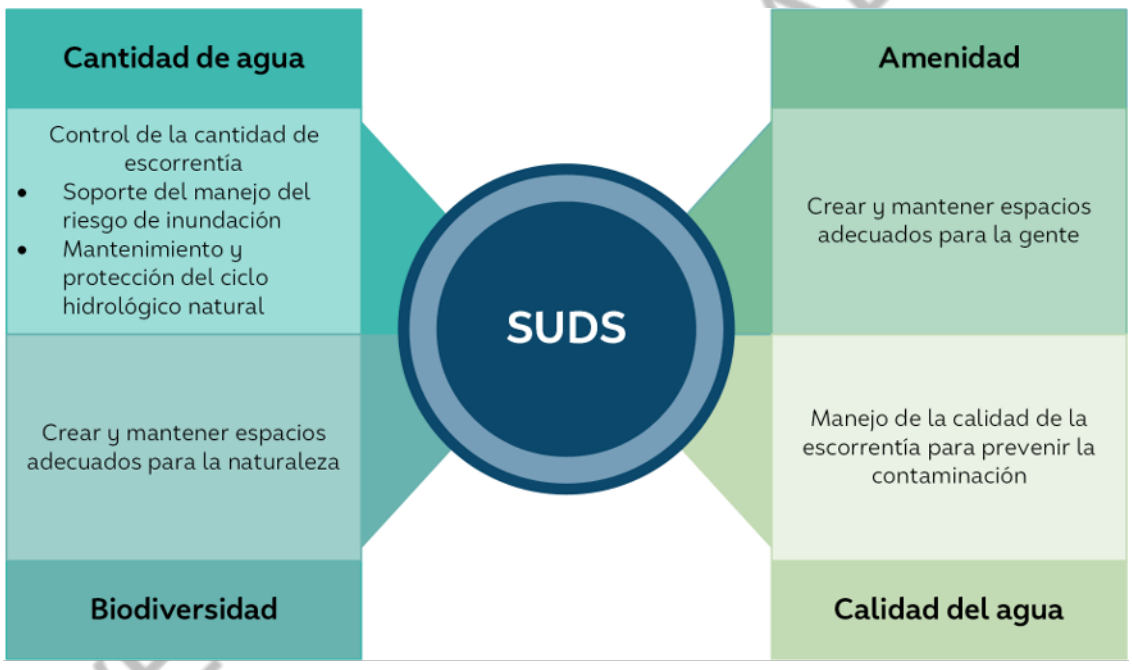


Figura 14. *Cuadrado beneficios de SUDS.*
Fuente: *Adaptado de CIRIA Norfolk Country Council, (2015)*

Servicio ecosistémico	Suministrado por parte de las tipologías de SUDS[a]
Provisión	
Agua dulce	Provisión a través de la recarga del agua subterránea o la disposición de recursos hídricos a través de un cuerpo de agua superficial y el tratamiento de la escorrentía
Recursos ornamentales	Proveer un medio que soporte la presencia de elementos como vegetación ornamental
Aprovechamiento de energía/ Fibra y combustible	A partir del uso de combustibles derivados material obtenido de la tipología (p.ej., residuos vegetales)
Comida	Soporte del desarrollo de granjas periurbanas y cultivo de alimentos dentro de la tipología
Regulación	
Regulación de la calidad del aire	La vegetación presente en las tipologías puede contribuir a la captura y transformación de contaminantes
Regulación del clima (microclima)	Modificación del microclima a través de la vegetación y el almacenamiento de agua cuya evaporación contribuye a la regulación de la temperatura
Regulación del clima (global)	Secuestro de carbono y transformación de otros gases de efecto invernadero
Regulación cantidad de agua	Reducción de caudales a través de la detención temporal y atenuación de volúmenes de escorrentía a través de procesos como la infiltración
Regulación amenazas naturales	Adicional a la regulación de la cantidad de agua, la presencia de vegetación y los componentes de tipologías de gran tamaño puede contribuir a amortiguar a amortiguar eventos de precipitación
Regulación de plagas	La contribución de algunas tipologías a la biodiversidad puede promover la presencia de predadores de plagas. Sin embargo, un manejo inadecuado de estos sistemas puede dar lugar a la presencia de ratas y mosquitos
Regulación de enfermedades	El tratamiento del agua contribuye a la remoción de patógenos. En todo caso se requiere un mantenimiento y diseño adecuado de las tipologías para evitar el potencial contacto de usuarios con áreas contaminadas
Regulación de la erosión	Manejo de la erosión local a partir del control del volumen y caudal de escorrentía
Purificación y tratamiento del agua	Remoción de contaminantes a través de procesos químicos, físicos y biológicos. El desempeño varía entre las tipologías de acuerdo con los procesos y los parámetros de diseño
Polinización	Los componentes de las tipologías con vegetación pueden soportar poblaciones de organismos polinizadores
Cultural	
Recreación y turismo	Las tipologías pueden proveer espacios recreativos dependiendo del diseño y las otras funciones que provean
Valor estético	Se puede proveer amenidad como resultado de la vegetación, la cual tiene valor estético y puede amortiguar sonidos con lo que permite crear espacios más agradables
Relaciones sociales	Algunas tipologías pueden constituir un foco de interés común para la comunidad y las actividades que se desarrollan en el área
Educación e investigación	Las tipologías de SUDS presentan un potencial variado para el desarrollo de actividades educativas y de investigación, en general estas permiten evidenciar el ciclo del agua lo que puede apoyar procesos educativos
Soporte	
Producción primaria	Las tipologías vegetadas pueden contribuir a la formación de materia orgánica
Ciclo de nutrientes	Tipologías como los humedales artificiales contribuyen de manera significativa a la transformación de los nutrientes
Reciclaje de agua	Este servicio tiene lugar en tipologías en las que se da un tratamiento a escala de sitio o regional
Fotosíntesis	Dependiendo de la vegetación presente en la tipología se contribuye en mayor o menor medida a este servicio
Hábitat para vida silvestre	Tipologías como los humedales artificiales pueden proveer diversos hábitats debido a la presencia de distintas zonas y tipos de vegetación

Tabla 2. *Servicios ecosistémicos*
Fuente: *[a]Charlesworth (2017)*

Uso de materiales reciclados

El uso de materiales reciclados para la construcción de tipologías de SUDS es posible en tanto cumplan con las especificaciones requeridas y se garantice que no se degradaran, ni habrá lixiviados de contaminantes en el agua (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). En la tabla 3 se resumen ejemplos presentados en manuales y estudios sobre el uso de materiales reciclados. La figura 15 presenta un ejemplo sobre el uso de materiales reciclados para la construcción de pavimentos permeables, este corresponde a un sistema de rejillas de plástico reciclado con acabado de gravilla. Cabe destacar que se recomienda que el material empleado en sistemas de biorretención no contenga finos.

Adicionalmente, el uso de concreto reciclado en la sub-base de los pavimentos permeables puede producir lixiviado con pH alto, lo cual puede afectar el crecimiento de vegetación y causar erosión en el suelo en el punto de descarga. A su vez, pueden acumularse precipitados en la tubería de salida. Por este motivo, en caso de usarse este material se debe realizar los ajustes en el diseño para minimizar bloqueos mediante una mayor área superficial de captación y las estructuras de salida deben ser accesibles para remover los precipitados (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

BORRADOR

Tipología	Componente	Material	Referencia
Pavimento permeable	Capa superficial	Spectrum (vidrio de color reciclado)	SureSet Permeable Paving (SureSet, 2020)
		Vidrio reciclado	Manual: CIRIA Norfolk Country Council (2015)
		Concreto triturado reciclado	Estudio: Bentarzi et al. (2013)
		Plástico reciclado	Ecopavimento (Helechos S.A.S., 2017)
	Sub-base	Concreto reciclado	Manual: CIRIA Norfolk Country Council (2015) Estudio: Monrose et al. (2017)
Jardines de biorretención	Capa de drenaje	Pantalla de vidrio reciclada*	Manual: Melbourne Water. (2005)
		Concreto triturado reciclado*	Manual: CIRIA Norfolk Country Council (2015)

Tabla 3. *Antecedentes y ejemplos de uso de materiales reciclados en tipologías de SUDS*





Figura 15. *Ecopavimento.*
Fuente: *Cortesía de Helechos S.A.S*

Objetivos implementación

Considerando las categorías en las que se agrupan los beneficios de los SUDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) se presentan cuatro objetivos generales para la implementación de estos sistemas en la ciudad. El alcance de los objetivos para una intervención particular está determinado por las dimensiones y las áreas incluidas en una nueva construcción o desarrollo urbano.

- Controlar la cantidad de escorrentía a través de la preservación del ciclo hidrológico natural.
- Mejorar la calidad de la escorrentía para prevenir la contaminación de los cuerpos de agua receptores.
- Contribuir a la generación de amenidad a través del uso de la escorrentía como un recurso.
- Restaurar ecosistemas y contribuir a la creación de corredores verdes para incrementar la conectividad y resiliencia.

Marco normativo

Antecedentes normativos

Los antecedentes normativos que promueven y regulan la implementación de estos sistemas a nivel nacional y en la ciudad de Cali se resumen en la figura 16. A nivel nacional, la resolución 0549 de 2015 reglamenta parámetros y lineamientos de construcción sostenible (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2015). Si bien, la norma no menciona SUDS, mediante ésta se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones. Dicha guía menciona estos sistemas como parte del objetivo de reducción de superficies impermeables (Ministerio Vivienda Ciudad Territorio, 2015). Por otro lado, las normas referentes al suministro de agua potable y saneamiento han empezado a incorporar requerimientos para la gestión de la escorrentía y la incorporación de los

VERSIÓN BORRADOR

costos de implementación de SUDS en las tarifas. En la resolución 0330 de 2017 — por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - establece como requerimiento el diseño de SUDS con el objetivo de reducir el 25% del caudal pico del hidrograma de creciente de diseño en nuevos desarrollos. Esto se menciona en el artículo 153 de la sección 4, junto con requisitos referentes al uso de estructuras de pretratamiento en sistemas de retención (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017). En lo referente a tarifas, la resolución 688 de 2014 establece la metodología tarifaria para los prestadores de servicios públicos de acueducto y alcantarillado con más de 5000 suscriptores urbanos. Esta resolución indica que los prestadores pueden realizar estudios de beneficio/costo para incluir SUDS en el servicio público domiciliario de alcantarillado. Estos sistemas pueden incluirse en el Plan de Obras e Inversiones Regulado si la relación beneficio/costo es mayor o igual a 1 (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2014).

En lo referente a las normativas locales, en el Acuerdo N° 0373 de 2014, correspondiente a la adopción del Plan de Ordenamiento Territorial, se presentan los SUDS como parte de las estrategias para incrementar la cobertura de los servicios públicos. El Acuerdo reconoce que la implementación de estos sistemas permitiría que la capacidad hidráulica del sistema de drenaje pluvial sea adecuada para los requerimientos de la ciudad. Se indica la capacidad de los SUDS para amortiguar los caudales de escorrentía y mejorar la calidad del agua. En esta medida, para mitigar la amenaza por inundación pluvial en las áreas delimitadas como zonas inundables ubicadas en la zona de drenaje oriental se propone la implementación de SUDS.

La norma técnica de recolección de aguas residuales y lluvias (NDI-SE-RA-007/V1.0) incluye una justificación sobre la adopción de SUDS junto con algunos ejemplos de tipologías. A su vez, se hace referencia a prácticas no estructurales (EMCALI, 2017). Por otro lado, en el borrador de los "lineamientos de regulación de descargas de aguas lluvias en cauces superficiales en el área urbana de Santiago de Cali en el marco del permiso de ocupación de cauce" se plantea un modelo de gestión de lluvias a partir del control de distintos tipos de eventos de precipitación. En este sentido se abordan los conceptos de volumen de calidad, volumen de recarga, volumen de desbordes, y volumen de lluvias mayores (Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), 2018). A su vez, en los "lineamientos generales para el control de los caudales de aguas lluvias entregados al sistema de drenaje de la ciudad de Cali" se incluyen requerimientos para el diseño como el periodo de retorno, duración del evento y fuente de información para las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia. A su vez, se mencionan algunas tipologías de SUDS y estrategias para el manejo del agua pluvial. Así como tres métodos simplificados para determinar el volumen a regular (EMCALI, 2018a).

Cabe destacar los antecedentes normativos de la ciudad de Bogotá, los cuales se resumen en la tabla 4. De manera similar a la normativa de Cali los SUDS son mencionados en la norma de diseño de sistemas de alcantarillado (i.e., NS-085).

VERSIÓN BORRADOR

	Ordenamiento territorial	Construcción sostenible	Suministro de agua potable y saneamiento	
			Diseño y requerimientos	Tarifas
Nacional		Resolución 0549 de 2015	Resolución 0330 de 2017	Resolución 688 de 2014
Santiago de Cali	Acuerdo 0373 de 2014 (POT)		NDI-SE-RA-007/V1.0	
			Lineamientos control de caudales de agua lluvia	
			Lineamientos regulación de descargas de aguas lluvias	

Figura 16. *Antecedentes normativos nacionales y locales.*

Tipo de documento					
Ordenamiento territorial	Construcción sostenible	Operación de los SUDS	Diseño y construcción SUDS	Sistema alcantarillado	Tarifas / Incentivos
Decreto 088 de 2017 (POZ Norte) (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2017)	Resolución 1138 de 2013 (Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), 2013)	Decreto 597 de 2018 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2018)	NS-166 (EAAB, 2018)	NS-085 (EAAB, 2020)	Resolución 001 de 2019 (Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) & Secretaría Distrital de Planeación (SDP), 2019)

Tabla 4. *Antecedentes normativos Bogotá.*

Adicionalmente, en la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) estableció la norma técnica de servicios NS-166 —vigente desde febrero 9 de 2018- que involucra siete tipologías de SUDS: 1. Alcorques inundables, 2. cuenca seca de drenaje extendido, 3. cunetas verdes, 4. tanques de almacenamiento, 5. pavimentos permeables, 6. zanjas de infiltración, 7. zonas de biorretención. En esta se establecen principios para el diseño, operación, localización, restricciones, predimensionamiento, cobertura vegetal y materiales. Adicionalmente esta norma incluye como anexos la "Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)" y la "Cartilla técnica de SUDS", correspondientes a los Anexos B y C respectivamente.

En estos documentos se presenta información adicional sobre las siete tipologías de SUDS y su diseño. A su vez, en el 2019 se emitió la Resolución 001 de 2019 que reglamenta el Acuerdo 327 de 2008, que obliga a compensar las zonas verdes endurecidas como resultado de obras de infraestructura. Esta es una resolución conjunta por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y la Secretaría Distrital de Planeación (SDP). En esta se integran los SUDS a los cálculos de áreas de compensación por endurecimiento de zonas verdes, de modo que se provee un incentivo para su uso dado que su implementación permite reducir el área de compensación.

Adicionalmente, existen antecedentes a nivel institucional para guiar la implementación de estos sistemas a partir del ordenamiento territorial y la definición de responsabilidades. En primer lugar, el Decreto 088 de 2017 es un instrumento mediante el cual se determinan las normas para el Plan de Ordenamiento Zonal del Norte de Bogotá y se establece como requerimiento la implementación de SUDS (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2017). En este sentido, para el manejo del agua pluvial se dictamina que los desarrollos urbanísticos del área deben retener el 30% del agua lluvia. Así mismo, se listan los SUDS que podrían ser implementados en el área y se mencionan criterios de selección y ubicación para estos sistemas. Por otra parte, el Decreto 597 de 2018 determinó que la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) son los responsables del manejo del agua pluvial (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2018). Esto se define a partir de los instrumentos para el ordenamiento territorial y del recurso hídrico —como los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas- cuya estructura es coherente con la gestión del sistema de drenaje por parte de esas entidades. Este decreto deroga el Decreto 528 de 2014, en el cual se habían identificado relaciones de las entidades distritales con distintos elementos del sistema hídrico (p.ej., vegetación, áreas protegidas y alcantarillado pluvial (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014). Si bien este se encontraba en conflicto con la normativa existente, es importante considerar que los SUDS corresponden a un paradigma distinto para el manejo del agua lluvia. Por lo tanto, su implementación puede requerir nuevos actores cuyas responsabilidades deben articularse con las normas e instrumentos existentes.

VERSIÓN BORRADOR

Barreras y estrategias para la implementación de SUDS

Reconocer las barreras que pueden afectar el desarrollo de las distintas etapas de la implementación de SUDS permite anticipar problemas y comparar proyectos conforme a su viabilidad a lo largo del ciclo de vida (Deely et al., 2020). En la tabla 5 se resumen barreras identificadas en distintos contextos de acuerdo con la etapa en las que son más relevantes y el área o áreas con las que están relacionadas. La cual puede ser técnica, sociocultural, institucional o financiera. La relevancia de estas barreras depende de las características del proyecto y del contexto local.

Por lo que entidades distritales y otros actores locales pueden contribuir a su identificación. Por ejemplo, para la ciudad de Bogotá en el año 2015 entidades para el manejo del agua, la gestión ambiental, el desarrollo urbano, el manejo del riesgo y universidades indicaron dentro de las posibles barreras la percepción negativa de la comunidad, los costos de implementación y la falta de recursos financieros. Adicionalmente, identificaron barreras institucionales como la falta de trabajo interinstitucional e interdisciplinario, el desconocimiento de las entidades sobre su rol en la implementación de SUDS y la ausencia de normativas e incentivos. A su vez, como parte de las barreras técnicas mencionaron la falta de conocimiento de actores públicos y privados sobre el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los SUDS (Jiménez et al., 2019).

En general, la ausencia de experiencia local puede dificultar la transición al manejo sostenible del agua pluvial. De acuerdo con Wihlborg et al. (2019) la falta de conocimiento dificulta la implementación de los SUDS debido a que la incertidumbre sobre los costos e impactos hace que estos sistemas sean percibidos como una alternativa más riesgosa. Sin embargo, las experiencias iniciales permitirán generar conocimiento para mejorar futuros diseños. En la ciudad de Cali todavía no se cuenta con guías estandarizadas para todas las etapas de implementación, así como información sobre el volumen de calidad o tratamiento – basada en las características de los eventos de precipitación o de la escorrentía. La cual podría contribuir al dimensionamiento óptimo de las estructuras.

Conocer esto es fundamental puesto que, si el volumen de almacenamiento es muy pequeño, la capacidad de tratamiento de la estructura es limitada dado que la mayor parte de la escorrentía no podrá ser almacenada. A su vez, si el volumen es muy grande, para los eventos pequeños no habrá un tratamiento efectivo por sedimentación a causa del bajo tiempo de residencia (Urban Drainage and Flood Control District, 2010). Adicionalmente, experiencias previas en las que las tipologías de SUDS han sido diseñadas para grandes volúmenes de agua, han resultado en estructuras que frecuentemente están virtualmente secas y no reflejan una comprensión de las dinámicas del ciclo del agua (Backhaus et al., 2012).

Por otro lado, el marco regulatorio es un elemento clave para el desarrollo de las distintas etapas de implementación. Por ejemplo, si este es muy complejo y no se encuentran totalmente definidas las responsabilidades de los actores (p. ej., personas o entidades encargadas de financiación y mantenimiento), esto puede llevar a que no se construyan SUDS (Drosou et al., 2019; Wihlborg et al., 2019). A su vez, en los proyectos de mayor escala la cooperación interinstitucional e interdisciplinaria se convierte en un aspecto clave. Por lo que problemas en esta área puede llevar a que se prefiera el uso de sistemas tradicionales (Drosou et al., 2019).

Adicionalmente, las prioridades establecidas en las políticas son determinantes, puesto que si no se consideran aspectos como el cambio climático no será posible evaluar beneficios relacionados con el desempeño en estos escenarios y compararlo con la infraestructura tradicional (Deely et al., 2020).

VERSIÓN BORRADOR

Barreras	Etapa implementación			Clase			
	Planeación	Diseño	Construcción y operación/ mantenimiento	Técnica	Sociocultural	Institucional	Financiera
Falta de visión, estrategia en el monitoreo y/o evaluación en el largo plazo[11]	●	●	●	●	●	●	
Ausencia de guías estandarizadas para las distintas etapas de implementación[1,2]	●	●	●	●	●		
Falta de conocimientos técnicos[3,8,10]	●	●	●	●			
Simplificación de los problemas de gestión del agua urbana[3]	●	●	●	●		●	
Falta de trabajo interinstitucional e interdisciplinario[2,3,8,10]	●	●	●	●		●	
Límites políticos que no coinciden con los límites ecológicos e hidrológicos[3,4]	●	●	●			●	
Aproximación centralizada y tecnocrática, es decir baja o nula participación de la comunidad[3,4,11]	●	●	●	●	●	●	
Dificultad para controlar soluciones locales a través de un plan[5]	●	●	●	●		●	
Resistencia al cambio de prácticas tradicionales[9]	●	●	●	●		●	
Experiencias previas negativas[11]	●	●	●		●		
Incertidumbre sobre los impactos del cambio climático[11]	●	●	●	●	●		
Características físicas del sitio/ falta de espacio disponible[11]	●	●	●	●			
Impacto en los ecosistemas existentes[11]	●	●	●	●			
Falta d ejemplos en áreas con características similares[11]	●	●	●	●			
Falta de políticas o normativas e incentivos[2,3,5,8,10,11]	●		●			●	●
Funcionarios locales prefieren no destinar dinero para el desarrollo de proyectos fuera de su jurisdicción[6]	●		●				●
Costos de implementación[8,9,10]	●		●				●
Se requiere incrementar las tarifas lo cual no es aceptado por los usuarios[6,11]	●		●		●		●
Incertidumbre alta sobre los costos y beneficios[2,9,11]	●		●				●
No se valoran adecuadamente los activos ambientales[7]	●		●			●	
Falta de conocimiento de la comunidad[9,11]	●		●		●		
Potencial percepción negativa de la comunidad[8]	●		●		●		
Falta de capacidad institucional[2,10]	●		●		●	●	
Asegurar liderazgo y gobernanza furua[10]	●		●			●	
Tiempo de construcción y tiempo requerido para obtener beneficios	●		●	●	●		
Falta de conocimiento sobre la multifuncionalidad de los sistemas[11]	●	●		●	●		
Recursos limitados para la gestión del agua pluvial[2,3,6,,8,10]	●						●
Varias organizaciones y actores sin responsabilidades claras[3,8,10,11]	●				●	●	
Ausencia de una visión estatal para el manejo sostenible del agua[3]	●					●	
Manejo del agua pluvial ignorando su relación con otras actividades urbanas, como la planeación del uso del suelo[4]	●			●		●	
Priorización de otros aspectos de la planeación urbana[5,10,11]	●					●	
Conflictos de intereses entre planificadores y constructores[5,10]	●					●	
Restricciones legales para el uso de dinero público en propiedades privadas[6]			●				●
Incertidumbre en cuanto al desempeño de las estructuras[2]			●	●			
Dificultades en el mantenimiento[11]			●	●		●	

Tabla 5. *Barreras que limitan la implementación de SUDS*
Fuente. *1Backhaus, Dam, & Jensen (2012), 2Roy et al. (2008), 3R. R. Brown (2005), 4Dhakal & Chevalier (2016),5Cettner, Ashley, Viklander, & Nilsson (2012), 6Keeley et al. (2013), 7Morison & Brown (2011), 8Jiménez Ariza et al. (2019), 9Drosou et al. (2019), 10Wihlborg et al., (2019), 11Deely et al. (2020)*

Tanto en las regulaciones como en la planeación del proyecto se debe considerar el desarrollo en el largo plazo, sin embargo esto suele obviarse. En este sentido, las necesidades de mantenimiento y los responsables deben identificarse en etapas tempranas puesto que esto puede afectar el desempeño de las estructuras (Deely et al., 2020). De manera similar, los planes de monitoreo deben considerar más de un aspecto, debido a la multifuncionalidad de los SUDS (Deely et al., 2020).

Un problema adicional, puede presentarse dentro de las dinámicas de los procesos de urbanización. Puesto que incluir SUDS en la etapa de planeación no garantiza que serán implementados. En algunos casos, a medida que se urbaniza un área el espacio proyectado para estos sistemas se destina a otros usos de acuerdo con los intereses del urbanizador (Wihlborg et al. 2019).

Atender estas dificultades requiere una aproximación iterativa e interactiva para identificar responsabilidades, soluciones preliminares y nuevas problemáticas. Esto hace parte de un proceso cíclico que demanda el esfuerzo conjunto de actores de distinto tipo (Fryd et al., 2010). Por lo tanto, una transición a la sostenibilidad en el manejo del agua pluvial debe incluir mejoras simultáneas de aspectos interinstitucionales y de colaboración público-privada (Wihlborg et al., 2019). De manera que es necesario establecer regulaciones con el objetivo de clarificar los roles de las instituciones públicas y crear espacios para promover la comunicación entre los individuos y entes relacionados con el desarrollo urbano (Wihlborg et al., 2019). Mediante lo que será posible diseñar y construir SUDS de acuerdo con las necesidades locales y capacidades técnicas y económicas (Drosou et al., 2019).

En la tabla 6 se resumen estrategias identificadas para mejorar los procesos de implementación de SUDS, las cuales están relacionadas con diferentes etapas y actores. Los talleres permiten el intercambio de conocimiento teórico y práctico, así como la inclusión de actores que tradicionalmente han tenido un rol secundario en el manejo del agua pluvial. Por ejemplo, debido a las características de los SUDS, profesionales como los arquitectos pasan a tener un papel principal. Sin embargo, pueden enfrentarse a retos que deben ser identificados y abordados de manera adecuada para mejorar los procesos de implementación de estos sistemas. A su vez, su experiencia les permite abordar distintos elementos asociados con el planteamiento de SUDS de acuerdo con sus beneficios y, potencialmente, podrían liderar la integración de los actores relevantes para el proceso de diseño. En consecuencia, su capacitación constituye un aspecto clave (Backhaus et al., 2012). Igualmente, la ejecución de talleres entre profesionales de distintas áreas posibilita el trabajo multidisciplinario para el desarrollo de soluciones a partir del el contexto, en las que se incluyan aspectos cualitativos, cuantitativos y socioculturales (Fryd et al., 2010). Finalmente, realizar talleres con la comunidad antes, durante y después de la construcción incrementa la aceptación de los sistemas y su apropiación por parte de los habitantes del área de influencia (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a).

La creación de entes de coordinación es fundamental en algunos casos, puesto que el liderazgo en proyectos interdisciplinarios permite transcender barreras institucionales y construir relaciones consistentes. A su vez, es útil para identificar roles y asignar responsabilidades en etapas tempranas de la implementación de SUDS (Deely et al., 2020). Adicionalmente, ayuda a crear esquemas colaborativos en los que el apoyo de actores privados se incremente (van de Meene, Bettini, & Head, 2020). Por otro lado, el éxito de acciones como los proyectos piloto depende de la inclusión de componentes que permitan asegurar la transferencia de conocimiento (Wihlborg et al., 2019).

De manera que el monitoreo y el desarrollo de plataformas para compartir las características de los sistemas y los resultados son fundamentales para que se mejoren los procesos de implementación a través de experiencias previas.

VERSIÓN BORRADOR

Dado que los SUDS hacen parte de una visión distinta a la tradicional para el manejo del agua, su implementación implica cambios en la planeación urbana. En este sentido, considerarlos en etapas tempranas de los procesos de urbanización permite integrar la gestión de la escorrentía en el diseño urbano. Esto repercute de manera positiva en la aceptación de los habitantes del área y la provisión general de beneficios. A su vez, el desarrollo de alianzas aumenta el compromiso de los actores y reduce la incertidumbre sobre los responsables de las actividades de mantenimiento durante la vida útil de las estructuras.

Por ejemplo, en un proyecto en North Hamilton en Leicester (Reino Unido) se realizó un convenio con una empresa privada para el mantenimiento y monitoreo de las tipologías de SUDS (Greenbelt Group ltd., 2016); lo cual garantizó el desarrollo de estas actividades en el largo plazo.

Específicamente para la ciudad de Cali es recomendable actualizar el Manual de Diseño y Construcción de los Elementos Constitutivos del Espacio Público del Municipio (MECEP) (Ospina Gómez, Figueroa Ruiz, Marulanda Arbeláez, & Borrero Hurtado, 2010), para que los elementos propuestos estén en línea con el manejo sostenible del drenaje urbano. Por ejemplo, en los caminos o senderos peatonales y las ciclo rutas promover el diseño y construcción de pavimentos permeables.

En los parques o andenes en donde se propongan el uso de alcorques, lograr que estos se integren al manejo de la escorrentía de las zonas aledañas.

Estrategia	Objetivo	Etapa implementación		
		Planeación	Diseño	Construcción y operación/ mantenimiento
Talleres	Fomentar la implementación por parte de arquitectos paisajistas[1]	Pb, Pr	Pb, Pr	
	Promover intercambio de conocimiento entre profesionales de distintas disciplinas[2]	Pb, Pr	Pb, Pr	
	Fomentar la inclusión de nuevas ideas en las organizaciones[3]	Pb	Pb	
	Promover aceptación social de los sistemas[3]	Pb, Pr		Pb, Pr
Creación entes para la coordinación[5]	Trascender límites institucionales y establecer relaciones entre los actores[5]	Pb, Pr	Pb, Pr	Pb, Pr
Proyectos piloto[4]	Proveer experiencias prácticas para el monitoreo y mejora[4]	Pb	Pb	Pb
Cambios en la legislació[4]n	Proveer bases para incrementar el uso de los sistemas[4]		Pb	Pb
Tarifas diferenciadas de acuerdo al grado de impermeabilidad/ implementación sistemas[4]	Incentivar el uso de los sistemas a partir de beneficios económicos[4]			Pb
Subsidios[4]	Incrementar el número de sistemas implementados[4]			Pb
Considerar SUDS en etapas tempranas de la planeación urbana[6]	Crear sistemas que involucren a la comunidad y estén en capacidad de promover el conjunto de beneficios asociados a los SUDS[6]	Pb, Pr	Pr	
Incluir criterios para el manejo sostenible del agua pluvial como parte integral del diseño urbano[6]	Incrementar los beneficios provistos por los SUDS y promover el trabajo interinstitucional e interdisciplinario[6]	Pb, Pr	Pb, Pr	
Creación de alianzas[6]	Crear estrategias que involucren distintas escalas y actores, y trasciendan límites territoriales políticos[6]	Pb, Pr	Pb, Pr	Pb, Pr
Trabajo proactivo y continuo[6]	Establecer prioridades orientadas al manejo sostenible del agua pluvial a partir de la anticipación de problemas futuros[6]	Pb		

Actor responsable:
Pb: Público,
Pr: Privado.

Tabla 6. *Estrategias para la implementación de SUDS*
Fuente. *1Backhaus, Dam, & Jensen (2012),2Fryd et al. (2010), 3Macdonald & Jones (2006), 4Wihlborg, Sörensen, & Alkan Olsson (2019), 5Deely et al. (2020), 6Smaniotto Costa et al. (2015)*

B.

Escala de Aplicabilidad del Drenaje Urbano Sostenible

VERSIÓN BORRADOR

Como se resumió en la figura 13 la gestión de la escorrentía comienza con su control en la superficie o propiedad en la que se produce, lo cual involucra procesos de prevención y control en la fuente. Posteriormente, para los volúmenes que no puedan ser tratados en la fuente, es necesario evaluar el manejo a nivel de sitio. La última escala que debe considerarse es la regional o de cuenca, la cual involucra el tratamiento y almacenamiento de mayores volúmenes de agua (Marsalek & Schreier, 2009). En todo caso, el planteamiento de las estrategias debe basarse en el análisis de las escalas más grandes para establecer un sistema integrado que responda a las necesidades de la cuenca. Por lo que, si bien el manejo de la escorrentía depende de estructuras descentralizadas, su implementación debe estructurarse en torno a objetivos a nivel de cuenca o de escala regional. Así mismo, para un manejo sostenible del agua pluvial es importante partir de las características de los drenajes antes del desarrollo urbano, incluyendo las divisorias de agua y los puntos de descarga de la cuenca (Toronto and Region Conservation Authority & Credit Valley Conservation, 2010). En general, el manejo del agua pluvial se encuentra relacionado con los componentes de un desarrollo urbano: edificio, propiedad, calle y espacio abierto. En estos componentes existen espacios con un rol particular para el control de la escorrentía producida, por lo que tienen una relación distinta con las escalas para su manejo. En la tabla 7 se relacionan las escalas de manejo de la escorrentía con estos componentes.

En la figura 17 se resumen estrategias para el manejo de la escorrentía de acuerdo con los diferentes tipos de áreas de la ciudad. Como se resume en esta figura una misma práctica puede estar relacionada con distintas tipologías. El potencial de implementación de SUDS en los edificios y áreas comunes se centra en el control en la fuente y la reducción de descargas. De manera que es posible minimizar la escorrentía producida mediante el control de áreas impermeables, ya sea a partir de materiales y tipologías de SUDS, o la desconexión de estas áreas del sistema de drenaje convencional. A su vez, el manejo del agua pluvial puede convertirse en una herramienta para el diseño de los espacios comunales.

Este primer Tomo del Manual va a mostrar las estrategias que se pueden aplicar a escala Calle y Espacio Abierto. El segundo tomo mostrará las correspondientes a Edificio y/o propiedad. Cabe resaltar que algunas estrategias pueden aplicarse tanto a escala Edificio y/o propiedad como a Calle (ver figura 17).

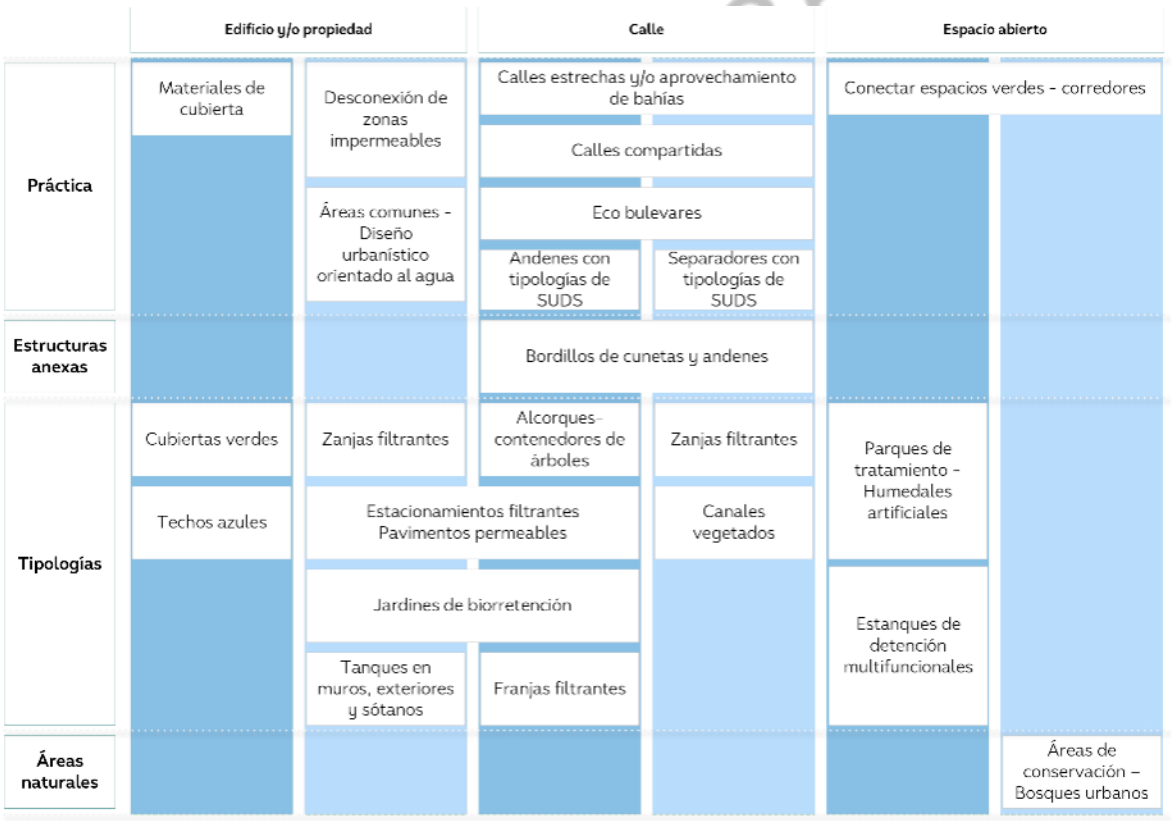


Figura 17. *Estrategias para el manejo del agua pluvial en función de la escala de aplicabilidad*

Escala manejo escorrentía	Componentes desarrollo urbano		
	Edificio y/o propiedad	Calle	Espacio abierto
Control en la fuente	X	X	X
Control en el sitio		X	X
Control regional			X
Transporte		X	X

Tabla 7. *Escalas de estrategias para el manejo de la escorrentía en las áreas de los componentes de un desarrollo urbano.*

VERSIÓN BORRADOR

Edificios y propiedades

De acuerdo con el uso del suelo en un nuevo desarrollo urbano se presentan variaciones en las oportunidades y requerimientos para el manejo de la escorrentía. Los edificios y propiedades pueden corresponder a vivienda unifamiliar o multifamiliar, así como edificios comerciales e industriales (Greater Adelaide Region, 2010).

En el diseño de los edificios se debe considerar el fomento de la recarga de acuíferos y el aprovechamiento del agua lluvia. A su vez, en las áreas no construidas se debe promover el tratamiento de la escorrentía y evitar emplear vegetación cuyo único propósito sea ornamental (Luoni et al., 2010).

Dado que los usos del suelo son determinantes en las concentraciones y tipos de contaminantes en la escorrentía (Pitt et al., 2004), prácticas como la infiltración pueden estar limitadas en áreas industriales y se puede requerir un mayor número de etapas para obtener una buena calidad para el efluente.

Para la vivienda unifamiliar las estrategias para el manejo de la escorrentía incluyen prevención, pretratamiento y control en la fuente. La implementación de las estrategias debe estar articulada con las condiciones y requerimientos del entorno (Greater Adelaide Region, 2010).

En el caso de desarrollos de viviendas multifamiliares o complejos comerciales e industriales, la escorrentía generada en las distintas áreas impermeables puede ser transportada y tratada en áreas comunes.

Se ha establecido que las prácticas a nivel de edificio y propiedad pueden contribuir al manejo de 75 a 85% de los eventos de precipitación. Para eventos extremos se requiere el transporte de la escorrentía a sistemas para control a escala de sitio y/o regional (Marsalek & Schreier, 2009).

Calles

Las calles están constituidas por superficies con alta impermeabilidad y por lo tanto tienen un impacto significativo en el volumen, calidad y transporte de la escorrentía. De modo que estas áreas deben ser diseñadas para incorporar estrategias que permitan el manejo del agua pluvial a partir de su recolección, atenuación, transporte y tratamiento. Particularmente, las áreas adyacentes a las vías permiten desarrollar estrategias para el control en la fuente, así como el transporte y tratamiento de escorrentía proveniente de distintas áreas. Las técnicas más adecuadas dependen de la topografía, la densidad del desarrollo y el tipo de vía. Por lo que cada desarrollo urbano requiere un análisis de sus características para el establecimiento de una solución específica (Greater Adelaide Region, 2010).

Espacio abierto

El manejo del agua pluvial en estas zonas constituye una oportunidad para crear redes de corredores verdes que provean servicios ecosistémicos en la escala de cuenca (Luoni et al., 2010). Esto involucra integrar áreas de conservación, sistemas para el manejo de la escorrentía y áreas de recreación. En este caso combinación de medidas es clave para el manejo de riesgos asociados a la cantidad y calidad de la escorrentía urbana (Marsalek & Schreier, 2009). Potencialmente se pueden incluir sistemas para la conducción, detención, retención y tratamiento para el establecimiento de áreas multifuncionales. Por ejemplo, pueden desarrollarse parques lineales con objetivos recreativos que permitan mejorar la relación de la comunidad con el agua lluvia (Greater Adelaide Region, 2010).

En este sentido, en los espacios abiertos es posible construir sistemas para el control de escorrentía proveniente de distintas áreas, lo que involucra la escala de sitio y regional. La definición de componentes del espacio abierto debe, en lo posible, articularse con el manejo de la escorrentía. Esto significa que se debe procurar incluir estas áreas cerca del límite aguas abajo de la cuenca para incrementar el potencial de integración. De esta manera, su localización y tamaño favorecerá la implementación de sistemas para el control en el sitio y el control regional de la escorrentía (Toronto and Region Conservation Authority & Credit Valley Conservation, 2010).

VERSIÓN BORRADOR

2.1.

Estrategias del drenaje urbano sostenible

VERSIÓN BORRADOR

De acuerdo con el tipo y tamaño de las áreas públicas y privadas de la ciudad pueden implementarse distintas estrategias para el manejo de la escorrentía. Esto abarca intervenciones desde el edificio y/o la propiedad, la calle y los espacios abiertos. Cada una de estas tiene un potencial distinto para el control de la escorrentía y la provisión de beneficios adicionales. A su vez, su relación con elementos construidos y naturales varía. Su uso conjunto es clave para la conformación de una red que permita disminuir el riesgo por los cambios en la cantidad y calidad de la escorrentía, y en la que se establezcan sinergias para incrementar los beneficios provistos.

Por otro lado, las calles representan una oportunidad para el desarrollo de estrategias lineales de distinta extensión en las que se integren usos urbanos de manera que se incremente la calidad de los espacios públicos y se contribuya a la conservación de los ecosistemas. Finalmente, el uso de los espacios abiertos permite la creación de corredores verdes en los que tipologías de SUDS de gran tamaño y áreas naturales pueden contribuir a la prestación de diferentes servicios ecosistémicos.

Cada una de estas estrategias tiene distintas características, como se presenta a continuación:

DU.1. En las vías

DU.1.1. Bordillos de cunetas y andenes

Se refiere a una estructura de entrada, llamada vado, que permite dirigir la escorrentía a una tipología de SUDS. Consisten en una abertura en los bordillos que intercepta el flujo de escorrentía de manera perpendicular (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a; Dylewski, Brown, LeBleu, & Eve F. Brantley, 2014). Pueden emplearse varias entradas para un mismo sistema con el objetivo de distribuir la escorrentía al interior de este.

Estas estructuras deben usarse en conjunto con enrocados (i.e., capa de piedra sobre un geotextil) para reducir la velocidad de la escorrentía y controlar la erosión en este punto. A su vez, el enrocado funciona como una trampa de sedimentos (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a).

De acuerdo con las características del área y la tipología pueden implementarse distintos tipos de vados: (a) vado con rejilla, (b) vado con bordillos laterales, y (c) vado estándar (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a).

BORRADOR



Figura 18. *Vado con bordillos laterales en un jardín de biorretención.*
Fuente. *Center for Neighborhood Technology, 2014.*



Figura 19. *Vado a la entrada de una estructura de detención.*
Fuente. *Volkening, 2014a.*

DU.1.2. Alcorques - contenedores de árboles

Corresponden a contenedores de árboles que usualmente se ubican en andenes diseñados para el manejo de la escorrentía. Sus componentes incluyen una caja de concreto - cuya función es contener las raíces del árbol - sustrato y un sistema de drenaje. Este último incluye tubería de rebose, tubería de limpieza y tubería perforada localizada en la capa de drenaje. Sí no es posible realizar infiltración de la escorrentía se debe impermeabilizar el fondo de la estructura. El sustrato debe corresponder a suelo modificado, el cual es una mezcla de arena y grava con tierra vegetal y compost. Adicionalmente, se deben disponer elementos para la captación de la escorrentía, junto con disipadores de energía en el punto de entrada (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a). Los arboles presentes en este sistema permiten disminuir el volumen de escorrentía a través de la interceptación y evaporación. A su vez, facilitan la infiltración, proveen sombra, y brindan beneficios asociados con la amenidad y biodiversidad (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).



Figura 20. *Alcorque ubicado junto a un jardín de biorretención en Aurora, Illinois (Estados Unidos)*
Fuente. *Center for Neighborhood Technology, 2015.*



Figura 21. *Alcorque en Avenida Tabor — Rincón en Bogotá.*
Fuente. *Tomado de Instituto de Desarrollo Urbano (2020).*

DU.1.3. Separadores con zanjas filtantes o canales vegetados

Los canales vegetados corresponden a cunetas poco profundas que se emplean para conducir, tratar y atenuar la escorrentía superficial. Sus características pueden variar de acuerdo con el sitio y los objetivos de diseño (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Cuentan con vegetación para tratar la escorrentía y reducir su velocidad, y pueden incluir barreras de detención cuando las pendientes son altas (i.e., mayores a 0.02 m/m) (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a; CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

En caso de emplearse barreras de detención deben disponerse enrocados para evitar la erosión. Si la pendiente es muy baja se recomienda el uso de tuberías perforadas para evitar el estancamiento del agua.

La escorrentía puede ingresar a través de una tubería, en cuyo caso se recomienda utilizar un enrocado para evitar la erosión, o de forma difusa. En caso de que ingrese de forma difusa es recomendable colocar franjas filtrantes paralelas al canal (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a).

VERSIÓN PARA CONSULTA



Figura 22. *Canal vegetado en Greenfield, Wisconsin (Estados Unidos) .*
Fuente. *Volkening, 2014c*

DU.1.4. Andenes con pavimento permeable y/o franjas filtrantes

Las franjas filtrantes corresponden a franjas con césped o algún tipo de vegetación densa y baja pendiente. Permiten el tratamiento de la escorrentía de áreas adyacentes impermeables y suelen emplearse para el pretratamiento de la escorrentía antes de dirigirla a cunetas vegetadas, jardines de biorretención o zanjas filtrantes (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a; CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Promueven procesos de sedimentación, filtración e infiltración. Para bajas velocidades pueden ser efectivas en la remoción de contaminantes partículados a través de la remoción de sedimentos, materia orgánica y metales pesados. La infiltración permite algún grado de remoción de contaminantes solubles particularmente en eventos de precipitación pequeños (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Se recomiendan para el manejo de flujo no concentrado por lo que la longitud de la franja debe ser igual a la del área de captación. En caso de implementarse para escorrentía concentrada es importante incluir una estructura que su distribución antes de ingresar a la franja (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a).

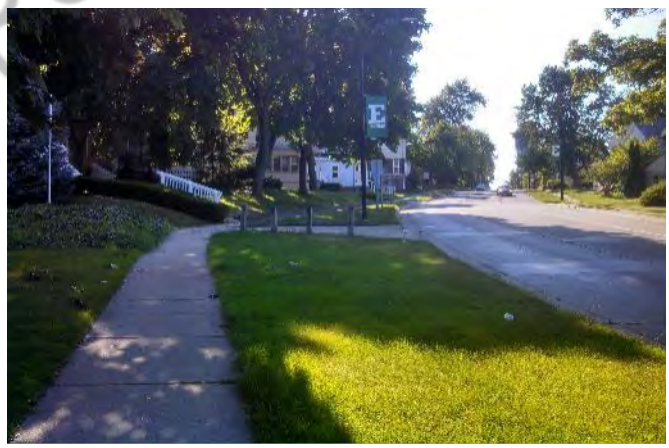


Figura 23. *Franja filtrante ubicada en un andén en Ypsilanti, Michigan, (Estados Unidos).*
Fuente. *Korson, 2016.*

VERSIÓN BORRADOR

DU.1.5. Calles estrechas y/o aprovechamiento bahías

Expansión de una porción de la línea del bordillo en el área de la vía que permite controlar el tráfico y el estacionamiento en zonas adyacentes (Department of Transportation, 2020; Toronto and Region Conservation Authority & Credit Valley Conservation, 2010). La adaptación para el control de la escorrentía del área es construida como una depresión vegetada de acuerdo con las características de los jardines de biorretención (Toronto and Region Conservation Authority & Credit Valley Conservation, 2010). A su vez, estás áreas se emplean para la construcción de bahías de estacionamiento con pavimentos permeables.



Figura 24. *Jardín de biorretención localizado en una extensión de la acera.*
Fuente. *Boskybiscuit, 2012.*

DU.1.6. Calles compartidas

Corresponde a una estrategia para disminuir la velocidad en vías en las que peatones, ciclistas y vehículos comparten el espacio (Department of Transportation, 2020). En este caso, toda la calle funciona como espacio público y no existen las separaciones mediante niveles presentes en una calle convencional (Department of Transportation, 2020). Algunas tipologías de SUDS (p.ej., alcorques inundables, jardines de biorretención y pavimentos permeables) hacen parte de las estrategias de diseño para el manejo de la escorrentía en estas áreas (Global Designing Cities Initiative, 2016).



Figura 25. *Bell Street Park. Calle compartida con jardines de biorretención.*
Fuente. *TIA International Photography, 2015.*

DU.1.7. Eco boulevares

Las áreas de los bulevares constituyen una oportunidad para la implementación de SUDS, debido al área disponible para implementar estrategias de detención, retención y tratamiento. A su vez, esta intervención permite incrementar la calidad de las vías y crear espacios adecuados para los peatones (National Association of City, 2017).



Figura 26. *Bulevar con Jardín de Biorretención en Minneapolis (Estados Unidos).*
Fuente. *Minneapolis Public Works TPP, 2018.*

VERSIÓN BORRADOR

DU.2. Espacio abierto

DU.2.1. Áreas de conservación – bosques urbanos

Corresponde a bosques, humedales y otras áreas naturales. Estas pueden tratar grandes volúmenes de agua y reducir el riesgo de inundaciones (Pennsylvania Land Trust Association, 2019). A su vez, generalmente se denomina sistema de bosque urbano al conjunto de árboles dentro de un área urbana, así como la cobertura del suelo. Estos componentes operan juntos de manera equivalente a un tren de tratamiento para controlar el volumen y la calidad de la escorrentía a través de procesos de interceptación, infiltración y toma de nutrientes (Kuehler, Hathaway, & Tirpak, 2017). En la ciudad de Santiago de Cali se empezó a conformar en el año 2018 una red de Bosques Urbanos compuesta por áreas públicas, privadas y de cesión de zonas verdes. Este sistema aporta a la conservación de humedales, coberturas vegetales y la red hídrica, así como de la avifauna (Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), 2019).

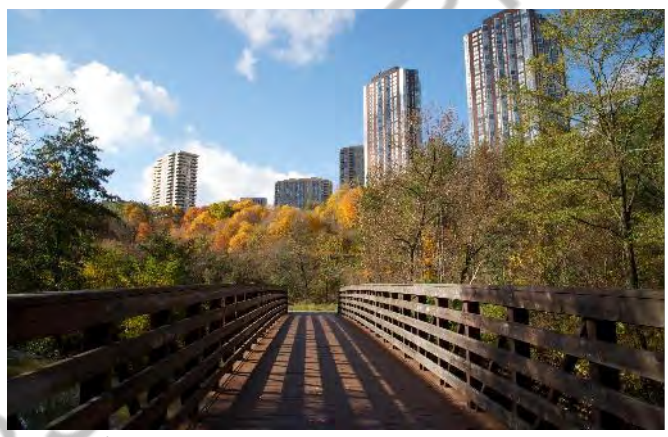


Figura 27. *Área de conservación Charles Sauriol en Toronto, Canadá.*
Fuente. *The City of Toronto, 2012.*

DU.2.2. Parques de tratamiento – humedales artificiales

Tipología que cuenta con una piscina permanente de agua. Es capaz de soportar vegetación acuática emergente y sumergida en las distintas zonas que la componen. Esto contribuye al tratamiento del agua y a la generación de amenidad y biodiversidad (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Este sistema incluye un sistema para controlar el caudal de salida para distintos volúmenes de almacenamiento.

Se recomienda incluir pretratamiento, ya sea a partir de otra tipología de SUDS aguas arriba o una antecámara de sedimentación. Adicional al volumen permanente de agua, los humedales cuentan con un volumen de almacenamiento para la atenuación de eventos de lluvia y una zona poco profunda perimetral en la que se establecen las plantas (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

VERSIÓN PRADO



Figura 27. *Área de conservación Charles Sauriol en Toronto, Canadá.*
Fuente. *The City of Toronto, 2012.*

DU.2.3. Estanques de detención multifuncionales

Son depresiones que por lo general están secas, pero almacenan escorrentía durante un evento de precipitación. Pueden tener vegetación, la cual contribuye al tratamiento de la escorrentía. Estos sistemas permiten la remoción de sedimentos y material flotante. A su vez, pueden proveer beneficios relacionados con la amenidad (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). En general, se encuentran delimitadas por taludes y la escorrentía puede ingresar de manera superficial o mediante tuberías. Se recomienda que la escorrentía sea dirigida a una antecámara para que se disipe la energía y se remuevan solidos antes de su ingreso al estanque de detención. En el área de almacenamiento se dispone un canal para caudales bajos que permite manejar eventos de baja magnitud. El sistema de salida incluye una micropiscina la cual contribuye al tratamiento al disminuir el riesgo de resuspensión de sólidos. Adicionalmente, se dispone una estructura para controlar el caudal de salida y estructuras tipo vertedero para la evacuación de eventos mayores a los de diseño (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a).

VERSIÓN BORRADOR

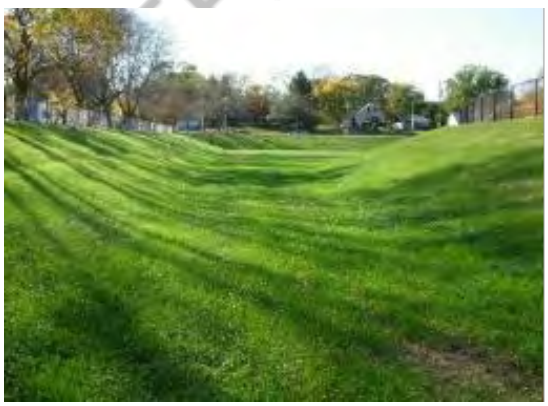


Figura 29. *Estanque de detención en el parque Grandview, Waukesha, Wisconsin (Estados Unidos).*
Fuente. *Volkening, 2010c, 2010b.*



Figura 30. *Estanque de detención en el Parque San Cristóbal, Bogotá (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA).*
Fuente. *Universidad de los Andes, 2017b.*

DU.2.4. Conectar espacios verdes - corredores

Los corredores verdes son franjas en las que pueden desarrollarse hábitats que conectan áreas naturales que han sido fragmentadas y permiten que la vida silvestre transite. Adicionalmente, revitalizan sectores urbanos con baja actividad al establecer espacios para el tránsito y la recreación. Son elementos clave para el tratamiento a gran escala y la protección contra inundaciones (Luoni et al., 2010)(Global Designing Cities Initiative, 2016). Comúnmente incluye ríos, canales, taludes, zonas verdes y zonas para vehículos y peatones (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). En este sentido una de sus formas más comunes corresponde a los corredores de los ríos, pero también pueden constituir un cinturón agrícola (Luoni et al., 2010). Se recomienda la provisión de estos espacios en calles cercanas a los parques, grandes bulevares, centralidades y vías locales de vecindarios (Global Designing Cities Initiative, 2016).

Su diseño puede requerir coordinación regional puesto que para su desarrollo es necesaria una aproximación ecológica (Luoni et al., 2010).

Debido a problemas como la fragmentación de los ecosistemas, contaminación y riesgos naturales, en el año 2013 la ciudad de Cali estableció lineamientos para la creación de corredores ambientales urbanos. Dichos lineamientos consideran aspectos jurídicos, ecosistémicos, hidrológicos, urbanos, de manejo de aguas escorrentía y socioeconómicos. Estos se plantean con el objetivo de garantizar las relaciones entre los componentes del territorio mediante la contribución a la conectividad, consolidación y preservación de la estructura ecológica del municipio (Centro de Investigación en Territorio Ciudad y Espacio (CITCE), 2013).

BORRADOR

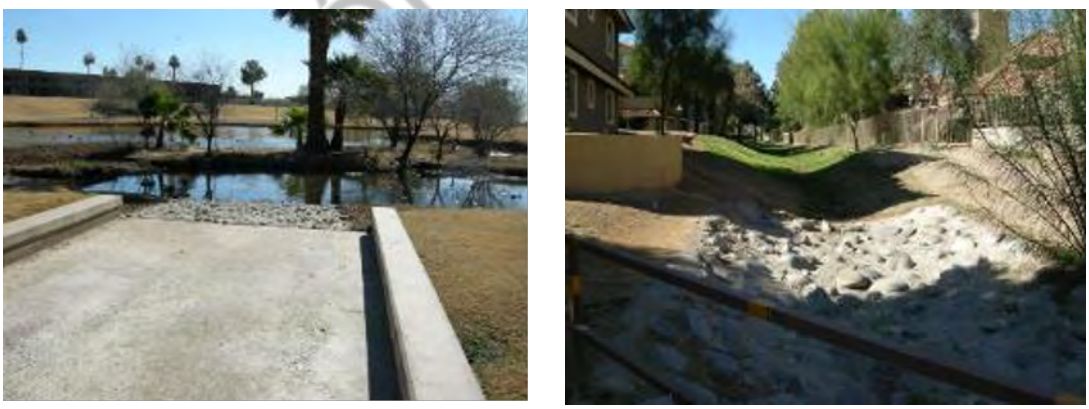


Figura 30. *Corredor verde Indian Bend Wash en Scottsdale, Arizona (Estados Unidos).*
Fuente. *Volkening, 2008.*

2.2.

Tipologías de SUDS

VERSIÓN BORRADOR

Componentes

Las tipologías de SUDS se componen de elementos que permiten el almacenamiento y tratamiento de la escorrentía, así como estructuras anexas cuya implementación depende de las características del lugar y de la calidad de la escorrentía. En la tabla 8 se resumen los elementos más comunes. Las estructuras anexas se clasifican de acuerdo con su función principal en estructuras de pretratamiento, conducción, y mantenimiento y/o monitoreo (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a). Adicionalmente, en la tabla se indica qué componentes son usualmente implementados y cuáles dependen del contexto. Esta tabla se elaboró con base en la presentada en la Cartilla técnica de SUDS del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes (2017a).

Las estructuras de pretratamiento son empleadas para remover contaminantes de gran tamaño, facilitar las actividades de mantenimiento y mejorar el desempeño de las tipologías de SUDS. Puesto que su uso disminuye bloqueos producto de sedimentos y residuos. Se recomienda emplear varias estructuras de pretratamiento en serie para mayor eficiencia en la remoción de contaminantes. La selección y uso de estructuras anexas de pretratamiento depende del origen de la escorrentía, el área de captación, los requerimientos de las tipologías de SUDS y el área disponible (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a). Por ejemplo, si la escorrentía es captada a través de sumideros en las vías, el uso de filtros disminuye la presencia de grasas, aceites, sedimentos y escombros (ver figura 32). Posteriormente, el agua puede ser dirigida a una antecámara, la cual es una cuenca pequeña en la que se promueve la sedimentación de partículas antes de que la escorrentía ingrese al área principal de la tipología de SUDS (ver figura 33). Por otro lado, si la escorrentía ingresa de manera difusa es preferible emplear franjas filtrantes de césped para disminuir la velocidad de la escorrentía y capturar sedimentos (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a).



Figura 32. *Filtro en sumidero.*
Fuente. *Beckers, 2010.*



Figura 33. *Antecámara para disminuir el ingreso de contaminantes al río Menomonee en Milwaukee (Wisconsin, Estados Unidos.*
Fuente. *Volkening, 2012c.*

Las estructuras de conducción incluyen elementos para dirección el flujo hacia la tipología y fuera de esta. Comprenden estructuras para la entrada, salida y la detención de escorrentía. Previenen el estancamiento de agua en área de ingreso, reducen la erosión del suelo y disminuyen los bloqueos producto de la acumulación de residuos (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a). Las principales estructuras de entrada corresponden a vados y tuberías. Los vados permiten el manejo de escorrentía de áreas adyacentes como vías y parqueaderos (ver figura 34), y las tuberías se emplean para conducir escorrentía que ha sido captada por sumideros u otras tipologías de SUDS.

En cada caso es importante disipar la energía de la escorrentía puesto que esto puede ocasionar erosión al interior del sistema. En esta medida, se emplean elementos como los enrocados y las barreras de detención. Esta última permite incrementar el tiempo de detención y mejorar el desempeño de las tipologías en áreas con pendientes altas (ver figura 35). A su vez, si la escorrentía ingresa a través de una tubería, elementos como los distribuidores de flujo permiten distribuirla sobre la superficie de la tipología. Si se desea limitar el volumen de escorrentía que ingresa al sistema, el empleo de un bypass permite realizar este control (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a).

SIN BORRADOR



Figura 34. *Vado con enrocado como entrada a un estanque de detención en Brown Deer, Wisconsin (Estados Unidos).*
Fuente. *Volkening, 2014b.*



Figura 35. *Barreras de detención localizadas en un canal vegetado en Milwaukee, Wisconsin (Estados Unidos).*
Fuente. *Volkening, 2012b.*

Tipologías de SUDS			Zanjas filtrantes	Jardines de bioretención	Pavimentos permeables	Alcorques	Franjas filtrantes[d]	Canales vegetados	Humedales artificiales[b]	Estanques de detención multifunción alas
Almacenamiento y tratamiento del agua pluvial	Almacenamiento temporal superficial			X		X	O*	X	X	X
	Almacenamiento temporal subterráneo									
	Reservorio (almacenamiento granular temporal subterráneo)		X		X					
	Piscina permanente								X	
	Vegetación		O	X	O	X	X	X	X	X
Pretratamiento	Filtros en los sumideros		O	O	O	O	O	O	O	O
	SUDS complementario	Franjas filtrantes	X	O	O			X	O	O
		Canales vegetados		O					O	O
	Separador de aceites		O							
	Trampa de sedimentos	Antecámara		O				O	X	X
		Pozos de sedimentación	O							
Conducción	Entrada	Vado	O	X		X	O	O		O
		Tubería	O	O			O	O	O	O
	Anexas a las estructuras de entrada	Disipador de energía: Enrocado		X		X	X	X		X
		Disipador de energía: Barreras de detención			O		O	O		
		Distribuidor de flujo		O			O	O		O
	Salida	Bypass	O	O		O	O	O	O	O
		Estructura de control de flujo: Orificio	O	O		O		O	X	X
		Estructura de control de flujo: Tubo vertical	O	X		X		O	O	O
		Estructura de control de flujo: Culvert y tuberías	X	X	X	X	O	X	X	X
		Vertedero de excesos							X	X
		Vertedero de emergencia							X	X
	Anexas a la estructura de salida	Tuberías perforadas	X	O	O	O	O*	O		
		Micropiscina con drenaje de mantenimiento								X
		Rejilla							X	X
		Disipador de energía: Enrocado						O	O	
		Disipador de energía: Tanque amortiguador							O	
	Estructuras de detención/ retención	Berma o terraplén		O			O*	X	X	X
		Barrera perimetral (concreto o mamposteria)		X	X	X				
		Dique de seguridad							X	X
		Drenaje de mantenimiento							X	
Mantenimiento y/o monitoreo	Pozo de inspección		X	O	O	O		O		
	Tuberías de inspección		X	X	X	X		O		
	Sistema de detección de fugas									

Tabla 8. *Componentes de las tipologías de SUDS.*
Fuente. *a Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes (2017a), b Urban Drainage and Flood Control District (2010), c Philadelphia Water Department. (2015), d Toronto and Region Conservation Authority & Credit Valley Conservation (2010), X: Componente típico, O: componente opcional, *elementos empleados cuando la tipología de SUDS no corresponde a una estructura de pretratamiento.*

Las estructuras de salida son importantes para la evacuación de la escorrentía en el tiempo requerido y el manejo de eventos mayores a los de diseño. Por ejemplo, los sistemas de salida de tipologías de SUDS como los jardines de biorretención y los pavimentos permeables emplean una placa perforada con un orificio para regular el caudal de salida del agua captada por las tuberías perforadas. A su vez, incluyen una estructura de rebose para eventos mayores a los de diseño. De manera similar, tipologías empleadas para el almacenamiento de grandes volúmenes de escorrentía (p. ej., humedales artificiales y estanques de detención) drenan los eventos de diseño a partir de placas perforadas. Pueden emplear vertederos de excesos y de emergencia para el manejo superficial de la escorrentía excedente, si es posible dirigirla superficialmente a un cuerpo de agua receptor (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a). En la figura 36 se presenta un ejemplo de un sistema de salida de un estanque de detención pequeño, por lo general se coloca una rejilla sobre los orificios para evitar que estos sean obstruidos por material vegetal u otros elementos. En la figura 37 se presenta un tubo vertical empleado como estructura de rebose en un jardín de biorretención.



Figura 36. *Sistema de salida de un estanque de detención localizado en el parque Ambruster en Greendale (Wisconsin, Estados Unidos).*
Fuente. *Volkening, 2012a.*



Figura 37. *Estructura de rebose de un jardín de biorretención en Milwaukee, Wisconsin (Estados Unidos).*
Fuente. *Volkening, 2011.*

Finalmente, es importante disponer estructuras que faciliten las labores de mantenimiento y permitan verificar que la tipología de SUDS está operando correctamente (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a). De esta manera, los drenajes de mantenimiento deben incluirse cuando se emplean sistemas con piscina permanente y en tanques de almacenamiento. Este tipo de estructuras permiten vaciar la tipología y remover sedimentos que se han acumulado durante su operación (Urban Drainage and Flood Control District, 2010). Por otro lado, los pozos de inspección permiten el acceso y mantenimiento de estructuras subterráneas. El uso de tuberías de inspección facilita la verificación del funcionamiento de las tuberías subterráneas y su lavado. A su vez, este elemento permite monitorear el drenaje de capas subterráneas, como las presentes en los pavimentos permeables (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a). En la figura 38 se presenta un ejemplo de una tubería de inspección empleada en un jardín de biorretención.

VERSIÓN BORRADOR



Figura 38. *Tubería de inspección en jardín de biorretención en Detroit, Michigan (Estados Unidos).*
Fuente. *University of Michigan School for Environment and Sustainability, 2016.*

BORRADOR

Ventajas y desventajas

Para apoyar el proceso de selección de los SUDS, en la tabla 9 están las ventajas y desventajas de las tipologías propuestas. Adicionalmente, en la tabla 10 está indicada la capacidad de reducción de contaminantes de cada tipología de acuerdo con eficiencias obtenidas en SUDS monitoreados. La información de la tabla 10 se encuentra actualizada con estudios más recientes (ver referencias en la parte inferior de la tabla).

Tipología	Sedimentos	Nutrientes	Bacteria	Metales
Zanjas filtrantes	A	A	A	A
Jardines de biorretención	A[v]	M	A**[v]	A*
Pavimentos permeables	A	M	M	M
corques - Contenedores de árboles	A	M	B	M
Franjas filtrantes	M	B	B	B
Canales vegetados	A****	B****	B	M*
Pavimento permeable	A	M	M	M
Humedales artificiales	A[v]	M***[v]	M[v]	A
Estanques de detención multifuncionales	NA	NA	NA	NA

Tabla 10. *Reducción de contaminantes objetivo de cada tipología.*
Fuente. *Adaptado de Massachusetts Department of Environmental Protection (2008)*

**Jia et al. (2015), **Hathaway, Hunt, & Jadlocki (2009), ***Lenhart & Hunt (2011), ****Lloyd et al. (2014), vClary, Jones, Leisenring, Hobson, & Strecker (2020)*
A (Alto) reducción de contaminante > 80%; M (Moderado) reducción de contaminante entre 30% y 80%; B (Bajo) reducción de contaminante < 25%; NA: no aplica (el sistema no reduce el contaminante objetivo)

Tipología	Uso	Regulación potencial	Ventajas	Desventajas	Referencias
Zanjas filtrantes	Captación y transporte	0.65 - 0.85	- Facilidad de integración con el paisaje. - Bajo consumo bioenergético. - Altos rendimientos de depuración. - Requiere de menos área comparado con otros SUDS	- Características del suelo específicas. - Se pueden presentar problemas de colmatación debido a las partículas finas presentes en la escorrentía. - Riesgo de inestabilidad de la pendiente - Riesgo a la contaminación del agua subterránea por la entrada de contaminantes. - Riesgo a la exfiltración de agua subterránea a las tuberías del alcantarillado, a los sótanos u otras estructuras.	[3.6.7 9.18]
Jardines de biorretención	Captación y retención	0.80 - 1.00	- Puede integrarse fácilmente a cualquier desarrollo urbanístico. - Protege calidad del agua. - Reduce la escorrentía del agua de lluvia, para eventos frecuentes hasta de 40mm de precipitación. - Alta absorción durante las lluvias.	- Su eficiencia se reduce con eventos mayores a 40mm. Es mejor pasarlo a otros componentes aguas abajo. - Requiere pendientes < 15% - No se recomienda para alta carga de sedimentos y finos.	[6.9.13.17.18]
Pavimentos permeables	Captación y retención	0.69 - 0.96	- Grandes áreas de cobertura. - Minimiza obras de drenaje superficial. - La capa de almacenamiento puede usarse para almacenar aguas captadas por otras superficies.	- Riesgo alto de contaminación de las aguas. - No se recomienda para pavimentos de tráfico pesado. - Si la estructura no cuenta con un buen diseño, tiene la tendencia a la colmatación por la entrada de sedimentos durante y después de la construcción.	[5.9.15]
Alcorques - Contenedores de árboles	Captación y retención	0.60 - 0.80	- Elimina barreras arquitectónicas. - Altos tiempos de retención, menor caudal pico de aguas en la salida. - Solución localizada. - Moderador de clima.	- Riesgo de daño generado por raíces en las estructuras aledañas - Requiere control de las partículas finas para evitar colmatación. - No apto para regulación de altos volúmenes de aguas.	[6]
Franjas filtrantes	Retención y transporte		- Reducción del máximo escurrimiento superficial. - Reducción de la velocidad de la escorrentía. - Reducción de los niveles de contaminantes de material particulado a través de la captura de sedimentos, material orgánico y metales pesados. - Remoción de contaminantes si es posible la infiltración	- No son prácticos en áreas con pendientes muy altas y suelos inestables. - Puede colmatarse la superficie, lo cual puede interrumpir el flujo laminar - Posible contaminación a las aguas subterráneas. - Se debe restringir el paso peatonal y vehicular, para evitar el deterioro la superficie.	[5.18]

Tabla 9. *Ventajas y desventajas de las tipologías propuestas.*
Fuente. *1EAAB (2018), 2Grupo de Ingeniería e infraestructura S.A.S. & Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) (2020), 3Martínez Candelo (2013), 4Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2010), 5Ministerio de Vivienda y Urbanismo & Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (1996), 6Molina León, Gutiérrez, & Salazar (2011), 7Pizarro Tapia, Flores Villanelo, Sangüesa Pool, & Martínez Araya (2004), 8Secretaría Distrital de Planeación (SDP) (2018), 9Trapote Jaume & Fernández Rodríguez (2016), 10Trujillo López & Quiroz Lasprilla (2013), 11Zanin, Bortolini, & Borin (2018), 12Eckart, Mcphee, & Bolisetti (2017), 13Lenhart & Hunt (2011), 14Lloyd, Wong, & Chesterfield (2014), 15Brown, Line, & Hunt (2012), 16Wilson, Hunt, Winston, & Smith (2015), 17Hunt, Smith, Jadlocki, Hathaway, & Eubanks (2008), 18CIRIA Norfolk Country Council (2015)*

			• Menores costos de construcción. • Aprovechamiento de espacios abiertos para el paisajismo.	• Sin un diseño y/o construcción adecuada se pueden crear gradas que causen erosión o zonas de pontaje.		
Canales vegetados	Retención y transporte	0.51 - 1.00	• Captación lateral en vías de las aguas superficiales (no afecta la estructura). • Permite filtrar y transportar con menor velocidad las aguas. • Remoción eficiente de sedimentos • Facilidad constructiva. • Baja frecuencia de mantenimiento.	• No apto para niveles freáticos altos, distancia mínima 1m. • Mantenimiento frecuente por alta probabilidad de colmatación. • Pueden requerir una superficie mayor debido a las bajas pendientes laterales. • Si el canal permite la infiltración de la escorrentía existe el riesgo a contaminar las aguas subterráneas.	[3.6.7.9.14.18]	
Pavimento permeable	Captación y retención	0.60 - 0.80	• Infiltración de las aguas de escorrentía. • Minimiza obras de drenaje superficial. • Minimiza altas temperaturas del pavimento. • Mayor tiempo de concentración, frente a pavimentos convencionales.	• Riesgo de colmatación de la estructura por sólidos en suspensión. • Menor resistencia a la compresión. • Apto para tránsito ligero. • Tiempos de obra prolongados.	[3.5.9.10]	
Humedales artificialas	Captación y almacenamiento	0.80 - 1.00	• Disminución de la escorrentía superficial. • Facilidad de integración paisajística y ambiental. • Baja frecuencia de mantenimiento. • Remoción eficiente de sólidos suspendidos, microorganismos patógenos, desechos orgánicos y algunos metales y nutrientes solubles. • Aumento de la diversidad de la flora y fauna en área urbanas.	• Tiempo óptimo de mantenimiento lento. • Problemas de colmatación del sustrato. • Puede requerir una superficie mayor que otros SUDS dependiendo del diseño. • Altos volúmenes movimiento de tierras. • Requiere de un caudal base para mantener la vegetación. • Liberación de nutrientes en el fondo. • Posible contaminación a las aguas subterráneas.	[9, 13]	
Estanques de detención multifuncionales	Captación y almacenamiento	0.45 - 0.65	• Reducción del pico de escorrentía. • Capacidad de eliminación de sólidos en suspensión y algunos contaminantes. • Puede emplearse para usos recreativos y para paisajismo.	• Requiere grandes áreas. • No se recomienda en terrenos escarpados. • Puede generar condiciones anaerobias, si no se controla el ingreso y la salida del agua al sistema	[5.9.11.18]	

Tabla 9. *Ventajas y desventajas de las tipologías propuestas.*
Fuente. *1EAAB (2018), 2Grupo de Ingeniería e infraestructura S.A.S. & Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) (2020), 3Martínez Candelo (2013), 4Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2010), 5Ministerio de Vivienda y Urbanismo & Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (1996), 6Molina León, Gutiérrez, & Salazar (2011), 7Pizarro Tapia, Flores Villanelo, Sangüesa Pool, & Martínez Araya (2004), 8Secretaría Distrital de Planeación (SDP) (2018), 9Trapote Jaume & Fernández Rodríguez (2016), 10Trujillo López & Quiroz Lasprilla (2013), 11Zanin, Bortolini, & Borin (2018), 12Eckart, Mcphee, & Bolisetti (2017), 13Lenhart & Hunt (2011), 14Lloyd, Wong, & Chesterfield (2014), 15Brown, Line, & Hunt (2012), 16Wilson, Hunt, Winston, & Smith (2015), 17Hunt, Smith, Jadlocki, Hathaway, & Eubanks (2008), 18CIRIA Norfolk Country Council (2015)*

Procesos para el manejo de la escorrentía

El potencial para el manejo de la escorrentía está determinado por los componentes de las tipologías de SUDS, aspectos considerados en el diseño y las características del lugar. En esta medida, procesos que favorecen el tratamiento y atenuación de la escorrentía pueden estar limitados por el área disponible y las características del suelo. En la tabla 11 se resumen procesos para el manejo de la cantidad y la calidad de la escorrentía que pueden tener lugar en estos sistemas. Considerar estos procesos es útil para la selección y el diseño de las tipologías de SUDS de acuerdo con los requerimientos y oportunidades en un desarrollo urbano.

Procesos	Aprovechamiento	Conducción	Almacenamiento/ Detención	Tratamiento										Atenuación		
				Procesos físicos				Procesos biológicos			Procesos químicos					
				Filtración gruesa	Filtración y biofiltración	Sedimentación	Separación	Biodegradación	Nitrificación/ Desnitrificación	Captación por la vegetación	Adsorción/absorción	Precipitación	Volatilización	Infiltración	Interceptación	Evapotranspiración
Zanjas filtrantes	N/A[2]	P[2]	P[2]	N/A	P[2]	N/A[2]	N/A	P[2]	N/A[2]	N/A[2]	P[2]	N/A[2]	P[2]	S[4**]	N/A	S[4]
Jardines de biorretención	N/A[2]	N/A[2]	P[2]	S[1]	P[1,2]	P[1,2]	S[3]	P[2]	P[2]	P[1,2]	S[*]	P[2]	P[2]	P[1,2**]	S	S[1]
Pavimentos permeables	I[2]	N/A[2]	P[2]	N/A[1]	P[1,2,4]	S[1]	P	P[2,4]	N/A[2]	N/A[1]	S[4*]	N/A[2]	P[2]	P[1,2,**]	N/A	N/A[1]
Alcorques	N/A	N/A	P	S	P	P	S	P	P	P[4]	S[*]	P	P	P[**]	P	P
Franjas filtrantes	N/A[2]	N/A[2]	I[2]	P[1]	S[1,5]	S[2]	I[3]	S[5]	N/A[2]	S[5]	S[1,5]	N/A[2]	I[5]	S[**]	I	I[1]
Canales vegetados	N/A[2]	P[2]	S	P[1]	S[1]	S[1]	S[3]	P[2]	N/A[2]	S[1,2]	S[1]	I[2]	S[4]	S[1,2**]	I	I[1]
Humedales artificiales	S	I[2]	P[2]	S[1]	S[1]	P[1]	P[3]	P[2]	P[2]	P[1]	P[1]	P[2]	P[2]	I[1,4]	S	P[1]
Estanques de detención multifuncionales	N/A[2]	N/A[2]	P[2]	S[1]	N/A[1]	P[1]	P[3]	P[2]	N/A[2]	I[1]	S[1]	N/A[2]	N/A[2]	I[1]	I	I[1]

Tabla 11. *Procesos para el manejo de la escorrentía en las tipologías de SUDS.*
Fuente.P: *1Urban Drainage and Flood Control District (2010), 2Woods Ballard et al. (2007), 3Venner, Strecker, Leisenring, Pankani, & Taylor (2013), 4CIRIA Norfolk Country Council (2015), 5Scholes, Revitt, & Ellis (2008), 6Philadelphia Water Department. (2015)*

*Primario, S: Secundario, I: Incidental o dependiente del diseño, N/A: No aplica *Depende del medio, ** Pueden desarrollarse sistemas sin este proceso.*

VERSIÓN BORRADOR

2.3.

Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

VERSIÓN BORRADOR

Diseño

El proceso de diseño de los SUDS involucra cuatro etapas principales correspondientes a: (1) definición de objetivos estratégicos para la gestión del agua; (2) diseños conceptuales, (3) diseños preliminares; y (4) diseños de detalle (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Adicionalmente, la articulación con el proceso de planeación de uso del suelo involucra dos categorías principales que se articulan de manera simultánea, según lo propone El Manual de SUDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). La primera es "Procesos de planeación y requerimientos" y la segunda "Diseño de drenajes y procesos constructivos". El orden recomendado para la concepción de SUDS, en su proceso de diseño deberá incluir las siguientes cuatro etapas.

Etapa 1. Definición de objetivos estratégicos para la gestión del agua:

- Objetivos de la gestión de inundaciones.
- Objetivos de la gestión de calidad del agua, hábitat y biodiversidad.
- Objetivos para la sociedad, comunidad y amenidad.
- Objetivos para el plan de manejo de los cambios climáticos y adaptación climática que pueda requerirse en la implementación de los SUDS.
- Evaluar los beneficios que podría traer la incorporación de SUDS en el proyecto de manera conceptual.

Etapa 2. Diseños conceptuales:

- Establecimientos de los criterios de diseño: calidad del agua, cantidad de agua, amenidad y biodiversidad (según características del sitio y desarrollo proyectado).
- Identificación de puntos de descarga.
- Rutas de drenaje subsuperficial y rutas de flujo superficial.
- Definición de los componentes SUDS.

Etapa 3. Diseños preliminares:

- Estimación de los volúmenes de agua para escorrentía e infiltración.
- Predimensionamiento de las obras a escala de las áreas tributarias.
- Análisis de factibilidad.

Etapa 4. Diseños de detalle (cálculo y diseño final detallado):

- Revisión de las condiciones de diseño de calidad, cantidad, biodiversidad y amenidad acorde a la normativa vigente.
- Dimensionamiento detallado de las obras a realizar.
- Diseño del plan estratégico.
- Método constructivo.
- Plan de mantenimiento.
- Análisis de salud y seguridad.
- Análisis de costo/beneficio.
- Plan de soluciones no estructurales: educación e incentivos con la comunidad.

En este orden de ideas, en primera instancia es preciso determinar el comportamiento de flujo e infiltración del agua, al igual que los criterios básicos de calidad, cantidad, biodiversidad y amenidad, para proceder con los diseños de las obras tipo SUDS a implementar. Así mismo, se requieren estudios previos que provean la información necesaria para realizar de manera adecuada el análisis de alternativas y dimensionar preliminarmente las obras para el manejo de las aguas lluvias. Los estudios de campo se requieren para el desarrollo del diseño detalle. Por lo general, se desarrollan de manera posterior a la evaluación de factibilidad en la que a partir de diseños conceptuales y preliminares se evalúa la viabilidad técnica y ambiental del proyecto. Para mayor información se pueden consultar los "Lineamientos para el diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS", expedido por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) & Ministero de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Los estudios básicos que se necesitan para el diseño de SUDS se mencionan a continuación:

Topografía, batimetría y localización del proyecto y fuentes de materiales.

- Se recomienda la localización considere planos escala 1:5.000 con cartografía local (IDESC) o nacional (IGAC).
- El levantamiento debe identificar los diferentes cuerpos de agua, drenajes, redes, accesos y todos los elementos que intervengan de manera directa e indirecta con los SUDS a proyectar, debidamente georreferenciados.
- Otras consideraciones especificadas por norma podrán ser aplicables para levantamientos topográficos y batimetría.

VERSIÓN BORRADOR

Estudio de suelos

- Se deben realizar pruebas de campo según las obras a proyectar, en los sitios donde se considere la probable proyección de las estructuras.
- Se deberán presentar los diferentes parámetros que permitan el diseño de las obras acorde a las especificaciones de la Norma Sismo Resistente (NSR) y otras normas vigentes para estudios de suelos.

Estudio hidráulico e hidrológico

- Los levantamientos topográficos y la batimetría (si se requiere) son requeridos para iniciar los diseños hidráulicos.
- Se deberán considerar en los cálculos hidrológicos los diferentes métodos aplicables, según la condición del diseño, para evaluar los modelos de lluvia — escorrentía. Ver diagramas para la determinación de Hidrogramas de Diseño (figura 39) y el Método Racional (figura 40).
- El consultor deberá presentar los parámetros morfométricos y geomorfométricos para el trazado de la cuenca y provenientes del trazado de la misma, con los respectivos archivos que sirvieron de insumo para este procedimiento.
- Se deberán evaluar los diferentes periodos de retorno aplicables para las obras proyectadas.

Estudios ambientales

- Se debe consultar con la autoridad ambiental la viabilidad técnica y ambiental del proyecto, previamente al inicio de los estudios de detalle del proyecto.
- La autoridad ambiental podrá requerir estudios ambientales y licencias ambientales, para la ejecución de estos proyectos.

En el Anexo 2, se describen algunas de las principales variables climatológicas pertinentes para los estudios hidrológicos requeridos en el diseño de SUDS. En este documento se menciona la variable de precipitaciones, según la zonificación pluviográfica propuesta por EMCALI. Cabe anotar que considerar futuros cambios en los regímenes de precipitación puede ser relevante para el diseño y evaluación del desempeño de los SUDS.

Por ejemplo, Zahmatkesh, Burian, Karamouz, & Asce (2015) discutieron el impacto del cambio climático en la precipitación. Mencionan que en la actualidad se diseña considerando modelos históricos de climatología y se asumen constantes. Sin embargo, debido a los efectos del cambio climático el diseño de sistemas de alcantarillas va a cambiar. Semadeni-Davies, Hernebring, Svensson, & Gustafsson (2008) modelaron, mediante el uso del software de drenaje urbano MOUSE, los efectos del cambio climático sobre sistemas urbanos de drenaje en la ciudad de Helsingborg, Suecia. Los autores concluyeron que el efecto del cambio climático resulta en el aumento de los vertimientos de alivios de alcantarillados combinados (CSOs).

En casos críticos, este fue de hasta 450%, lo que incrementaría la liberación de gas de amonio al medio ambiente.

VERSIÓN BORRADOR

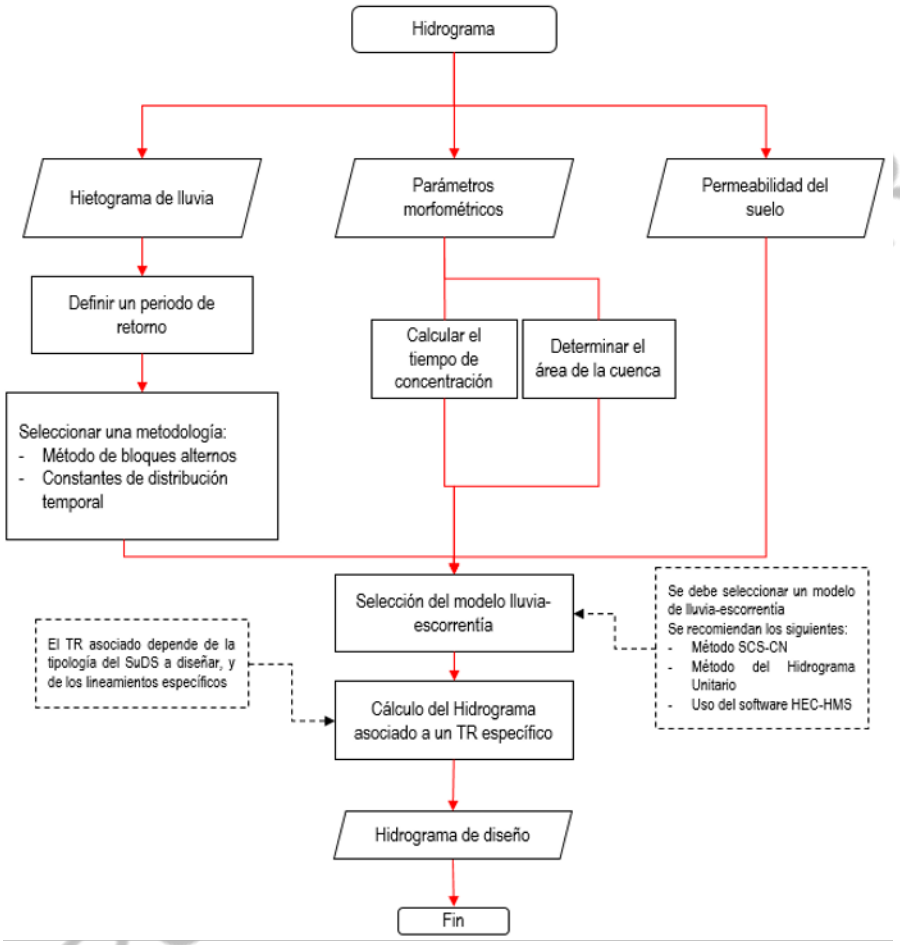


Figura 39. *Diagrama para la elaboración del hidrograma de diseño.*
Fuente. *Elaborado a partir de Chow, Maidment, & Mays (2000); US Army Corps of Engineers (2000).*

VERSIÓN

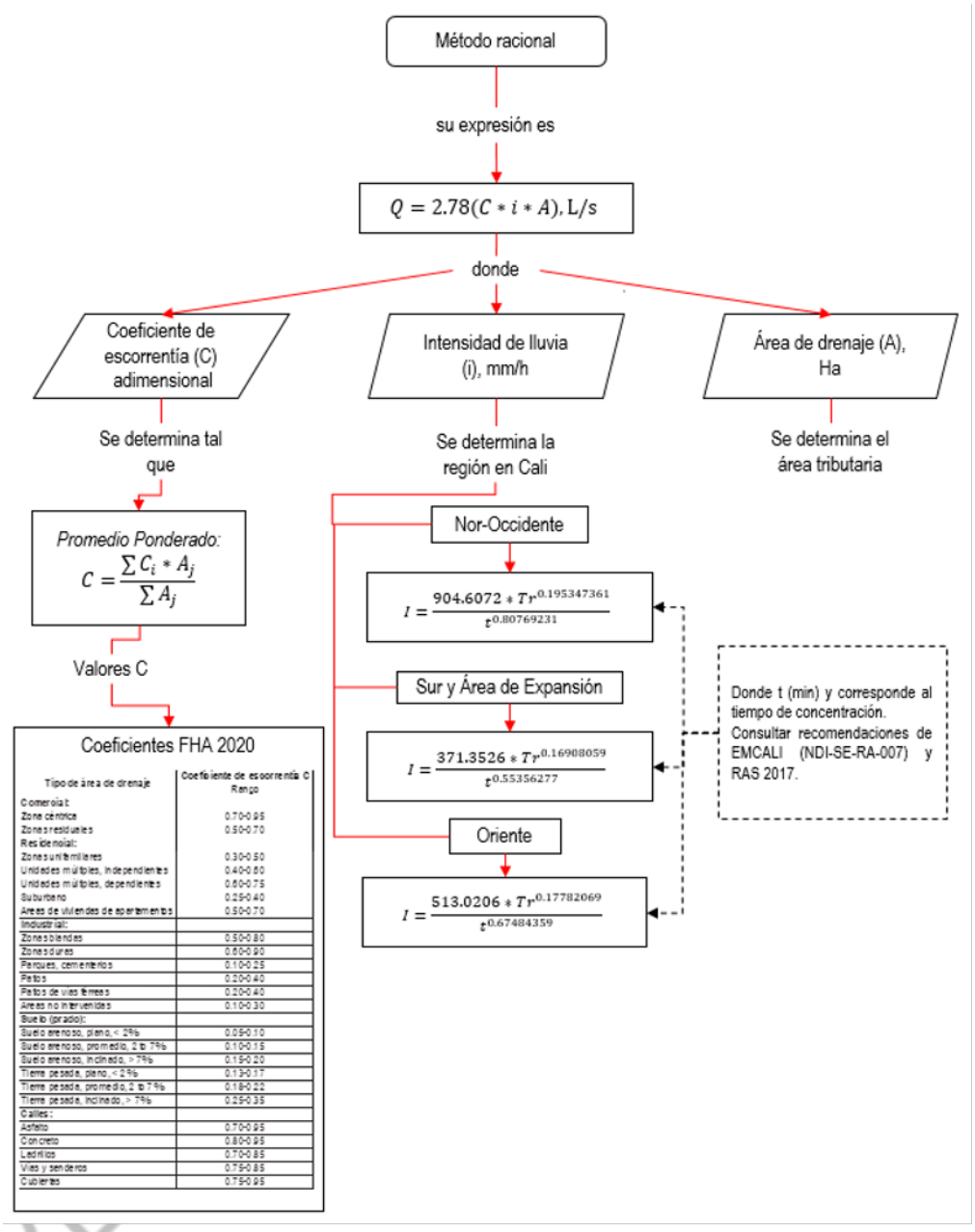


Figura 40. *Diagrama para el uso del Método Racional.*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2017); McCuen, Johnson, & Ragan (2002)*

En el estudio realizado por IGEI (contrato CVC No. 492 de 2019), donde se realiza la fase de diagnóstico para definir los SUDS en Santiago de Cali, se desarrolla un análisis de frecuencias de las series de precipitación máxima en 24 horas mensual anual multianual con 23 estaciones dentro y fuera del perímetro urbano del municipio, de la red climatológica de la CVC (IGEI, 2020). El análisis de precipitaciones es fundamental para el cálculo de caudales, por ello, se presentan los mapas de distribución espacial de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno. Las precipitaciones, en Cali A continuación, se presentan los mapas de precipitación máxima en 24 horas, para un periodo de retorno de 3 (figura 41), 5 (figura 42) y 25 años (figura 43). Estos mapas fueron elaborados a partir de la información encontrada en EMCALI (2018c), IDESC (2014) & IGEI (2020).

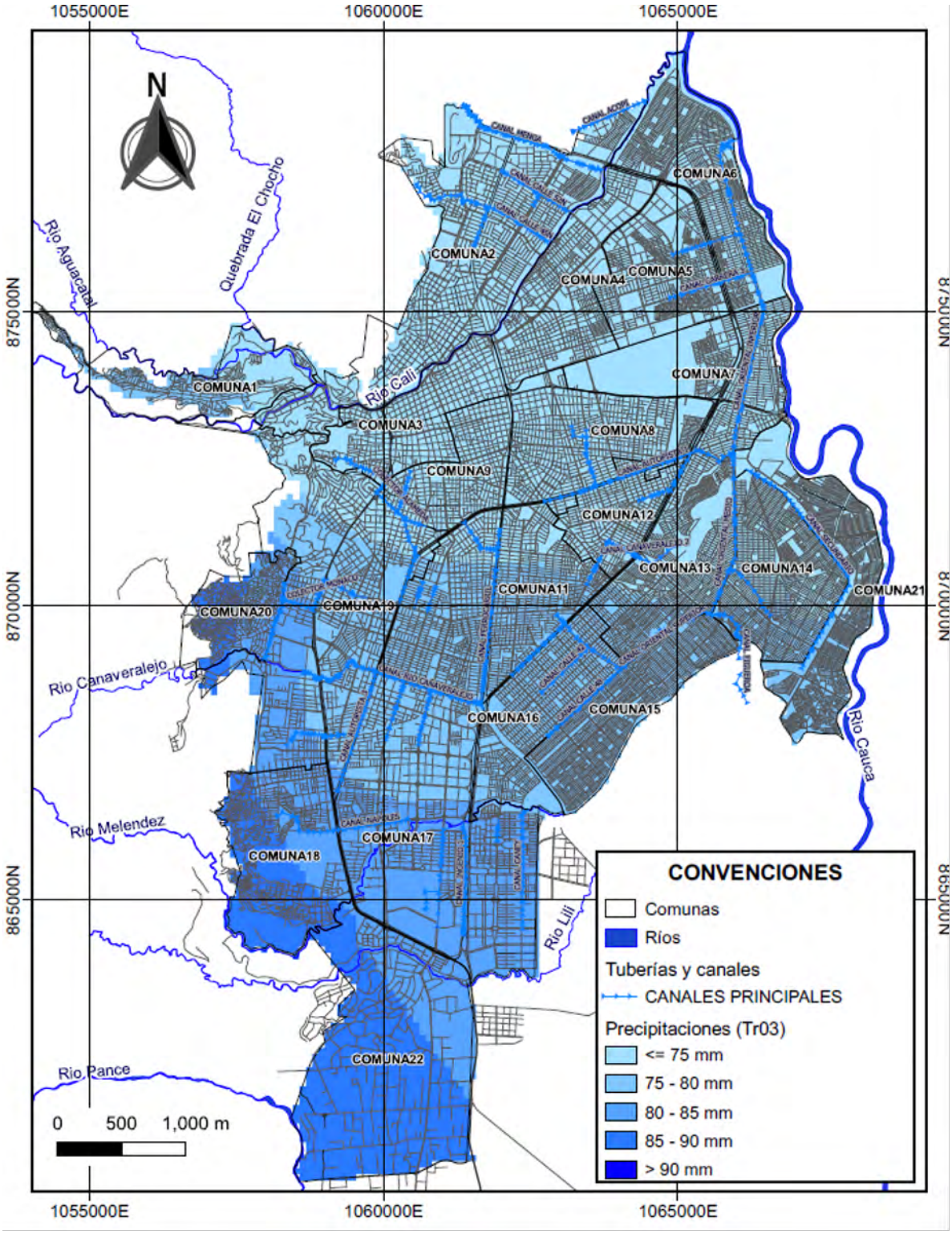


Figura 41. *Mapa de distribución espacial de las precipitaciones (Tr 3 años).*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c); IDESC (2014); IGEI (2020).*

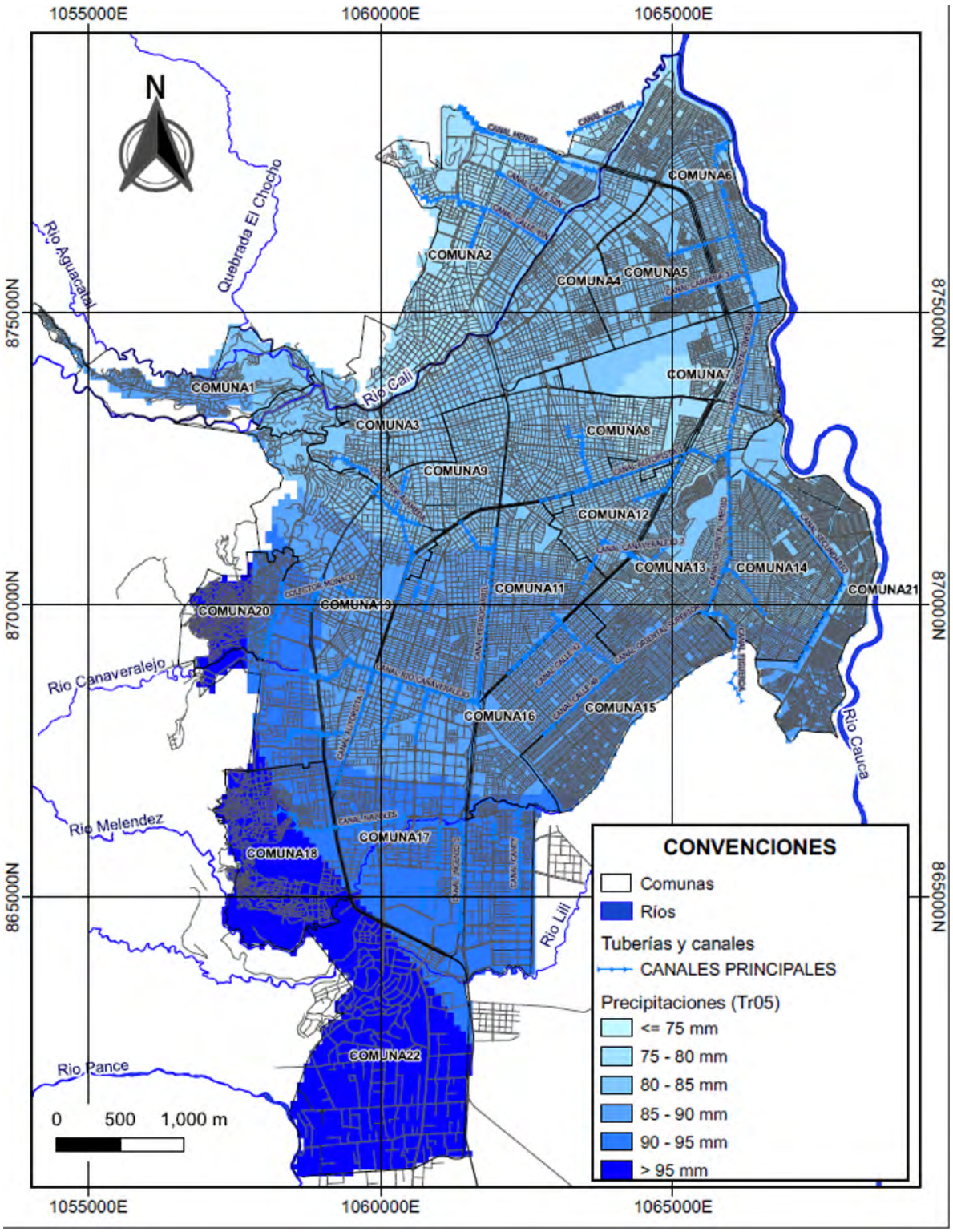


Figura 42. *Mapa de distribución espacial de las precipitaciones (Tr 5 años).*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c); IDESC (2014); IGEI (2020)*

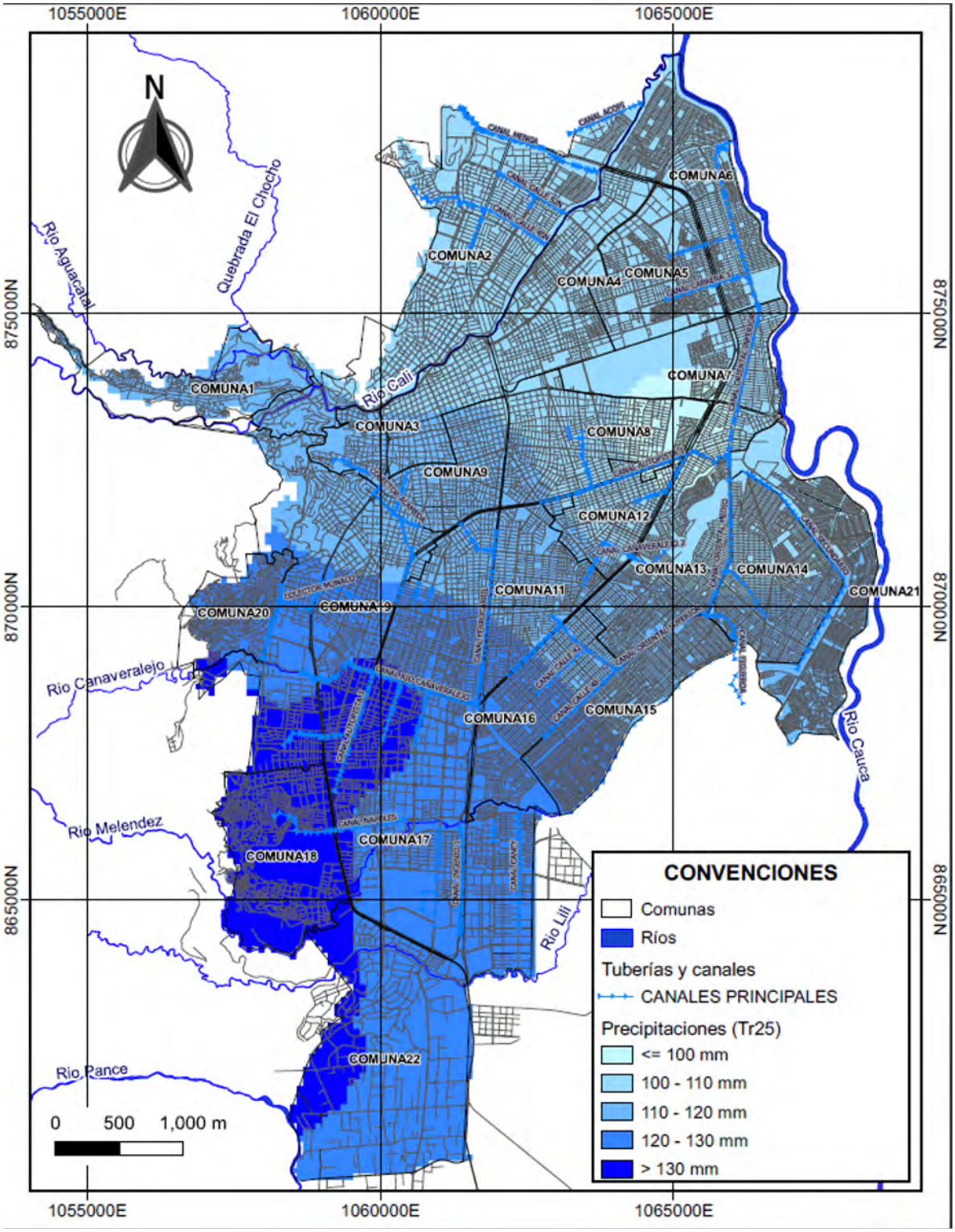


Figura 43. *Mapa de distribución espacial de las precipitaciones (Tr 25 años).*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c); IDESC (2014); IGEI (2020).*

La modelación hace parte de las últimas etapas del proceso de diseño. Para esta es importante considerar que el evento de diseño evaluado y las características de la cuenca son determinantes en el desempeño estimado para los SUDS. Qin, Li, & Fu (2013) modelaron los efectos de los patrones de lluvias en tipologías de SUDS en una cuenca urbana en Shenzhen, China utilizando el modelo SWMM. Obtuvieron que factores como el volumen de lluvia, duración, y proporción de tiempo pico (i.e., relación entre el tiempo al pico y la duración del evento), afectaban el desempeño de las tipologías de SUDS.

Por ejemplo, los canales vegetados se desempeñaron mejor para menores proporciones de tiempo al pico, mientras que los pavimentos permeables se desempeñaron mejor cuando la proporción tiempo a pico era de 0.5 y los techos verdes cuando la proporción era ligeramente mayor. También se identificó una disminución de la efectividad de los SUDS cuando los eventos de precipitación eran mayores. A continuación, se presenta la descripción del diseño de las tipologías contempladas para el manejo sostenible del drenaje urbano, siguiendo las referencias presentadas en la tabla 12.

Tipología	Referencias	Tipología	Referencias
Zanjas filtrantes	[2]	Calles estrechas y/o aprovechamiento de bahías	[2], [3]
Jardines de bioretención	[2], [3]	Calles compartidas	[2], [3]
Estacionamientos filtrantes	[2]	Eco-boulevares	[2], [3]
Áreas comunes - Diseño urbanístico orientado al agua	[2], [3]	Áreas de conservación - boques urbanos	[2]
Bordillos de cunetas y andenes	[3]	Parques de tratamiento - humedales artificiales	[2]
Alcorques - Contenedores de árboles	[2], [3]	Estanques de detención multifuncionales	[2]
Separadores con zanjas filtrantes o canales vegetados	[3]	Conectar espacios verdes - corredores	[2]
Andenes con pavimento permeable y/o zanjas filtrantes	[2]		

Tabla 12. *Metodologías para el diseño de tipologías de SUDS.*
Fuente. *[2] Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015), [3] Norma técnica NS-166 (EAAB, 2018).*

Zanjas filtrantes

En esta tipología se considera un medio filtrante generalmente en grava. En función de la capacidad de filtración del suelo este sistema puede requerir o no un sistema de drenaje (tubería) que capta las aguas del medio filtrante. Para el diseño de las zanjas de filtrantes el Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) da algunas recomendaciones generales:

- Profundidad entre 1.0 y 2.0 metros, mínimo 0.50 m para garantizar niveles razonables de remoción de contaminantes.
- Nivel de aguas freáticas admisible hasta 1.0 m por debajo del fondo de la base de la zanja.
- El ancho de la zanja depende generalmente del diámetro de la tubería y su respectivo recubrimiento.
- Se considera apropiado el uso de geotextiles y geomembranas.
- Pendiente máxima del 2.0 %, (o según requerimiento del medio filtrante, para garantizar velocidades de flujo).
- Apropiado para cuencas con áreas impermeables pequeñas.

VERSIÓN BORRADOR

Con base a estas recomendaciones, se deben considerar los tres elementos básicos que conforman este tipo de obras mencionados a continuación:

1. Diseño del material filtrante para una percolación adecuada, orientado a la calidad/ tratamiento del agua.
2. Diseño del material filtrante orientado a la retención del agua.
3. Diseño del sistema de tubería para convergencia y evacuación de las aguas captadas.

El diseño hidráulico puede realizarse considerando cuatro escenarios posibles intercepción, control de caudal pico, volumen de control y diseño por flujo en excesos. Estos se encuentran descritos de manera general en el apartado 16.4 del El Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Donde a su vez el mismo manual se refiere a otros apartados que complementan la información y el método de diseño en cada uno de dichos escenarios. En el caso de esta tipología, es muy importante que se considere de manera detallada en el diseño las condiciones o elementos de entrada y salida del agua en el sistema, pues así mismo, se garantiza la durabilidad de este sistema.

En la figura 44 se encuentra un diagrama para el diseño de esta tipología.

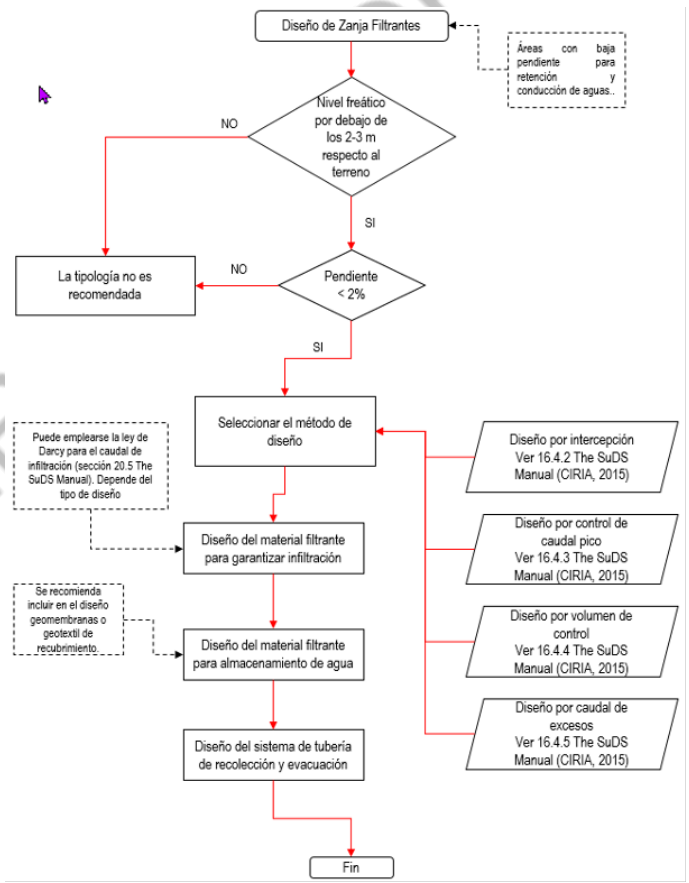


Figura 44. *Diagrama para el diseño de Zanjas filtrantes.*
Fuente. *Elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).*

VERSIÓN BORRADOR

Jardines de Biorretención

En su diseño se toma en cuenta que esta estructura tiene como finalidad mejorar la calidad de las aguas y se trabaja mediante el uso de un volumen de calidad (Vc). Para su cálculo debe considerarse la profundidad de lámina de escorrentía (hWQCV), los coeficientes de escorrentía, el área ocupada por el jardín, y unos coeficientes de tiempo y propios de la tipología. La profundidad hWQCV se determina a partir de series de escorrentía, para el caso de Bogotá esto se desarrolló en la NS-166 (EAAB, 2018).

Por lo tanto, se hace necesario para la ciudad de Cali realizar dicho análisis para poder aplicar esta metodología.

También se debe tener en cuenta las consideraciones generales tomadas de el Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) para el diseño de estas estructuras. Entre ellas está que el área sugerida de captación y retención no sea mayor a 0.8 ha, las velocidades deben ser bajas para evitar la erosión, la zona de biorretención debe ser del 2 al 4% del área de captación para prevenir el taponamiento de la estructura. Deben ser diseñadas para flujo intermitente y para que sea autodrenante y autoaireante con el fin de evitar el desarrollo y crecimiento de moho, algas o biopelículas que taponen el jardín. En la figura 45 se encuentra un diagrama para el diseño de esta tipología.

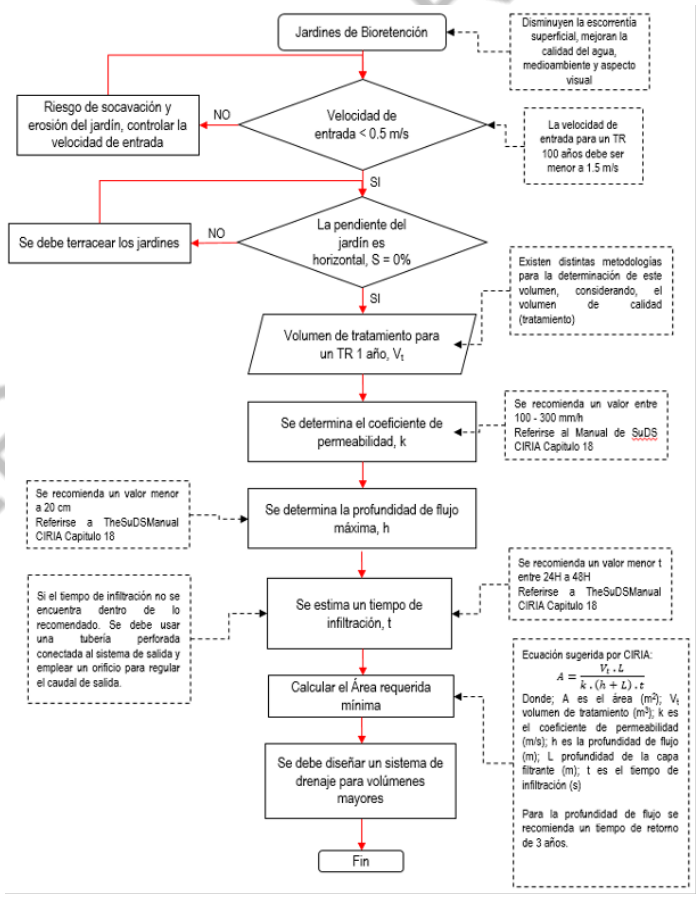


Figura 45. *Diagrama para el diseño de Jardines de Biorretención.*
Fuente. *Elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015)*

VERSIÓN BORRADOR

Pavimento permeable

Para diseñar un pavimento permeable se debe tener en cuenta el tipo de capa superior filtrante (ver figura 46). Existen diferentes tipos de capas superiores para el funcionamiento del pavimento permeable, algunos son: pavimentos permeables modulares, asfaltos porosos, recubrimientos con pasto, gravas con refuerzo de resinas, concreto poroso, permeables macro, canchas deportivas y pavimento poroso tipo bloque.

Después de seleccionar el tipo de capa superior, se debe establecer el tipo de sistema a utilizar, tales como: Infiltración total, infiltración parcial y sin infiltración. Se debe tener en cuenta el área impermeable, el caudal de captación y el tipo de sistema a utilizar para conducir las aguas. Debe considerarse la capacidad de almacenamiento e infiltración de la capa superior, la resistencia de la capa requerida, la pendiente de diseño, si hay necesidad de escalones o presas internas. Para tener un mejor entendimiento de la selección del sistema se sugiere revisar al capítulo 20 del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) y para un detalle más específico referirse a la tabla 13. En la figura 47 se encuentra un diagrama para el diseño de esta tipología.



Figura 46. *Ejemplos de capas superiores filtrantes de los sistemas de pavimentos permeables: eco-pavimento con ladrillo triturado (izquierda), neumático reciclado (centro), grama (derecha).*
Fuente. *Cortesía de Helechos S.A.S*

Características del suelo		Tipo A: infiltración total	Tipo B: infiltración parcial	Tipo C: sin infiltración
Permeabilidad de la subrasante, definida por el coeficiente de permeabilidad k (m/s)	1×10^{-6} a 1×10^{-3}	✓	✓	✓
	1×10^{-8} a 1×10^{-6}	×	✓	✓
	1×10^{-10} a 1×10^{-8}	×	× (1)	✓
Nivel máximo de agua esperado dentro de los 1000 mm de la cota máxima de la subrasante		×	×	✓
Contaminantes presentes en la subrasante		×	×	✓
Condiciones del suelo para las que no recomienda la infiltración del agua (antiguas áreas de explotación minera, suelos con estructuras de disolución)		×	×	✓

Tabla 13. *.Guía para la selección del tipo de sistema de pavimento.*
Fuente. *Adaptado de Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015.*

(1) la infiltración parcial puede ser usada en suelos con permeabilidad inferior a 10-8 m/s, pero no debe contemplarse la infiltración del agua para el diseño del almacenamiento. Ésta solo servirá para intercepción del agua

Luego, se determina la porosidad de las capas permeables, y se establece el almacenamiento hidráulico requerido. El diseño de la sub-base debe tener en cuenta la porosidad y el almacenamiento hidráulico previamente determinado. Se debe comparar si las profundidades de las capas cumplen con la capacidad de drenaje requerida según especificaciones requeridas; en este proceso se requiere la consideración de todas las áreas adyacentes y cubiertas. Además, se debe tener en cuenta la pendiente, ésta determina la necesidad de construir presas internas o no, con base en la optimización de espacio de almacenamiento. Para más información referirse al capítulo 20 sección 20.5.1 del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Posteriormente, debe determinarse el tamaño de los orificios de descarga, estimarse el tiempo de vaciado medio, y se diseña la propuesta final; cada proceso está detallado en el capítulo 20 del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

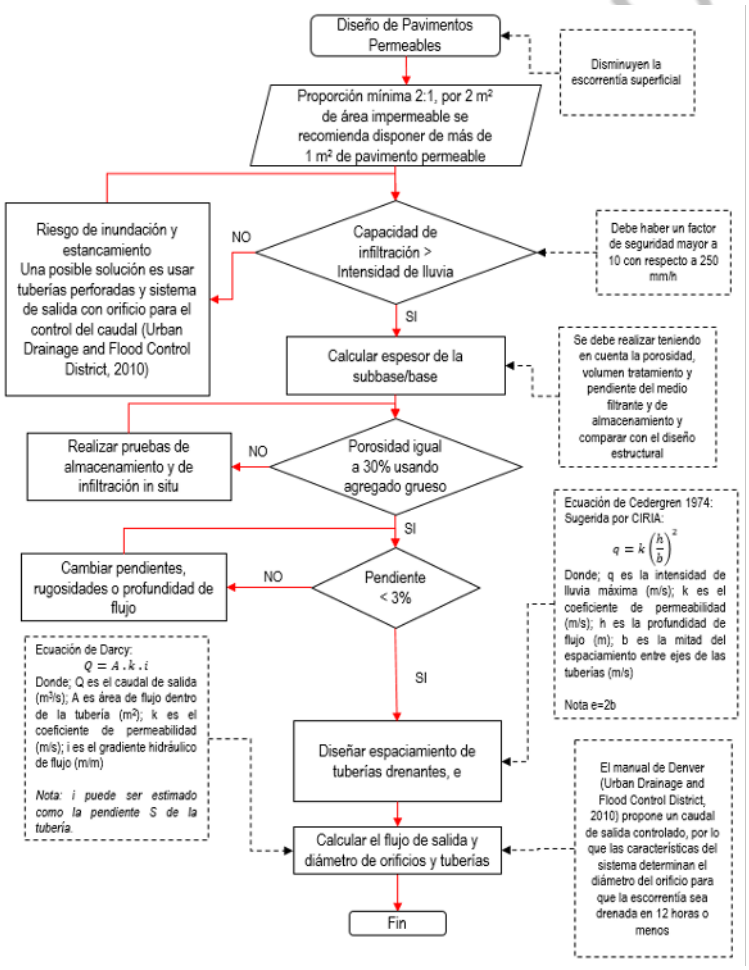


Figura 47. *Diagrama para el diseño de pavimentos permeables.*
Fuente. *Elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015)*

Alcorques — contenedores de árboles

Los alcorques inundables, siendo contenedores de árboles, se consideran para áreas de drenaje que no sean muy grandes, dada la capacidad reducida de esta tipología. Para el diseño de estas tipologías se recomienda considerar las restricciones propuestas en la NS-166 (EAAB, 2018), para el diseño de SUDS contempladas en la tabla 14.

En el dimensionamiento se deberá considerar parámetros para la cuantificación de la cantidad de agua a regular. Es necesario determinar el área, coeficiente de escorrentía y profundidad de la lámina de agua de diseño, luego se calcula el volumen mínimo requerido para el alcorque. La profundidad de la estructura se determina considerando la profundidad del sustrato, un tiempo de vaciado del medio filtrante, la permeabilidad del suelo contenido y una porosidad acorde al tipo de sustrato.

Una vez determinadas las áreas, se debe considerar una profundidad de encharcamiento que permita reducir la cantidad de partículas gruesas sedimentadas, evitando la colmatación del sustrato. El agua podrá ser evacuada por medio de infiltración al suelo o bien empleando tuberías perforadas.

Para ello se deben considerar escenarios distintos de volúmenes y tasas de evacuación de estas. En la norma técnica NS-166 (EAAB, 2018), se encuentra disponible la metodología completa y sus respectivas ecuaciones para el diseño de esta tipología. Debe tenerse en cuenta que esta metodología depende del volumen de tratamiento, lo cual como se mencionó en la tipología de Jardines de Biorretención debe realizarse para Cali. Aunque en el manual de CIRIA Norfolk Country Council (2015) capítulo 19 se especifican algunas consideraciones de diseño y ejemplos prácticos para esta tipología, se recomienda considerar los criterios de la EAAB.

En este documento se contemplan condiciones que permiten garantizar la estabilidad y capacidad de la tipología. En la figura 48 se encuentra un diagrama para el diseño de esta tipología.

VERSIÓN BORRADOR

Restricción	Valor	Unidades
Pendiente longitudinal	< 10	%
Distancia al nivel freático	> 1	m
Tasa de infiltración	> 7	mm/h
Distancia a cimientos	> 2	m

Tabla 14. *Restricciones del sitio para implementación de alcorques*
Fuente. *EAAB, 2018*

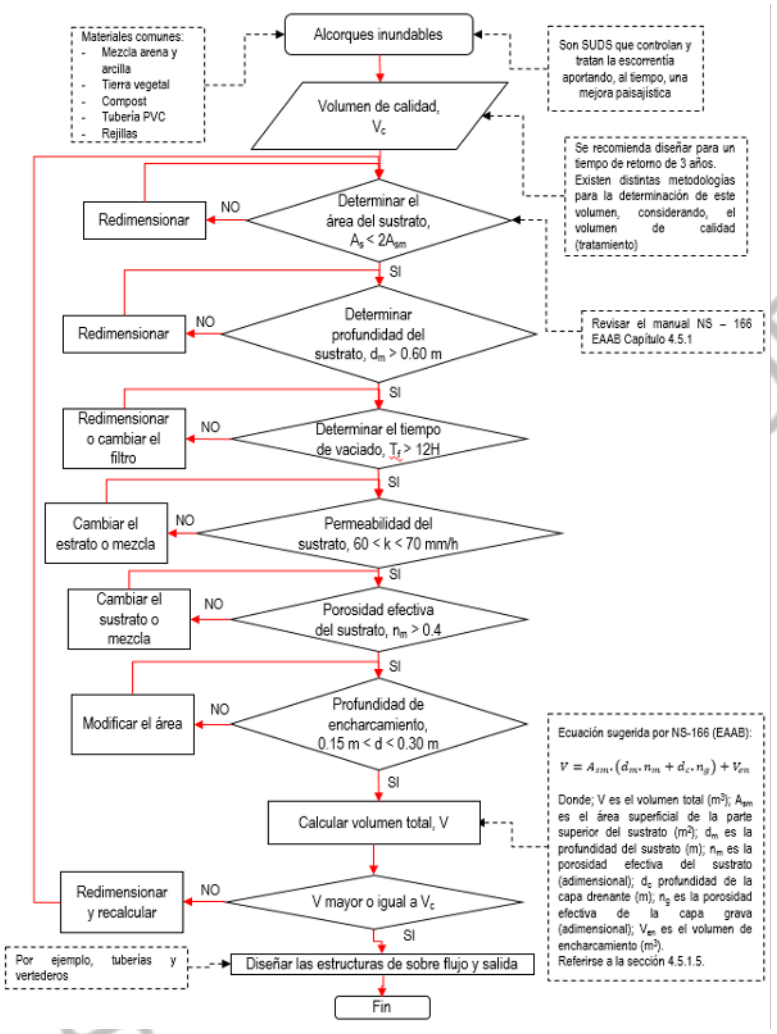


Figura 48. *Diagrama para el diseño de alcorques.*
Fuente. *Elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) y NS-166 (EAAB, 2018).*

Franjas filtrantes

Para el diseño de las franjas de filtración El Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) propone las siguientes especificaciones que permiten que el sistema trabaje óptimamente:

- Pendientes entre el 2 al 5%.
- Velocidad máxima de 1.5 m/s.
- Longitud máxima de zona impermeable de 50 m.
- Requiere de flujo en lámina (usar capas de materiales granulares filtrantes p.ej., grava).
- Profundidad de la franja mínima de 300 mm.
- Debe tener una base de arcillas y contenido orgánico adecuado para evitar la contaminación de aguas subterráneas.
- La pendiente mínima es del 2%, con un máximo de 5% por nivelador de flujo, si la pendiente es mayor al 5% deben usarse una serie de niveladores de flujo por segmento o barreras de detención.

- Las franjas no se consideran como controladores de volumen, pero sí como retardantes de flujo.

En la tabla 16 se pueden observar las características generales y recomendaciones por pendiente asignadas. Recomendación general: por 1 metro de zona impermeable diseñar 6 m de franja filtrante por ejemplo por 2 metros de andén impermeable serian 12 metros de franja filtrante. Siguiendo los lineamientos de la sección 15.5 del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

En el dimensionamiento (figura 49) de este tipo de obras, es fundamental determinar/conocer algunos parámetros de tales como velocidad del flujo de lámina, pendiente y coeficiente de Manning, para un diseño detallado consultar el capítulo 15 del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Pendiente	Longitud	Función	Importancia de Vegetación
1%	Mayor a 2.5 m idealmente 3 m	Protección de componentes aguas abajo	Baja
1%	Mayor a 5 m	Mejorar calidad del agua	Alta
1% al 10%	Mayor a 3 m	Concentración de Flujo	Muy Alta (Cobertura del 80% o mayor)

Tabla 15. *Características generales y recomendaciones por pendiente asignadas.*
Fuente. *Adaptado del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015)*

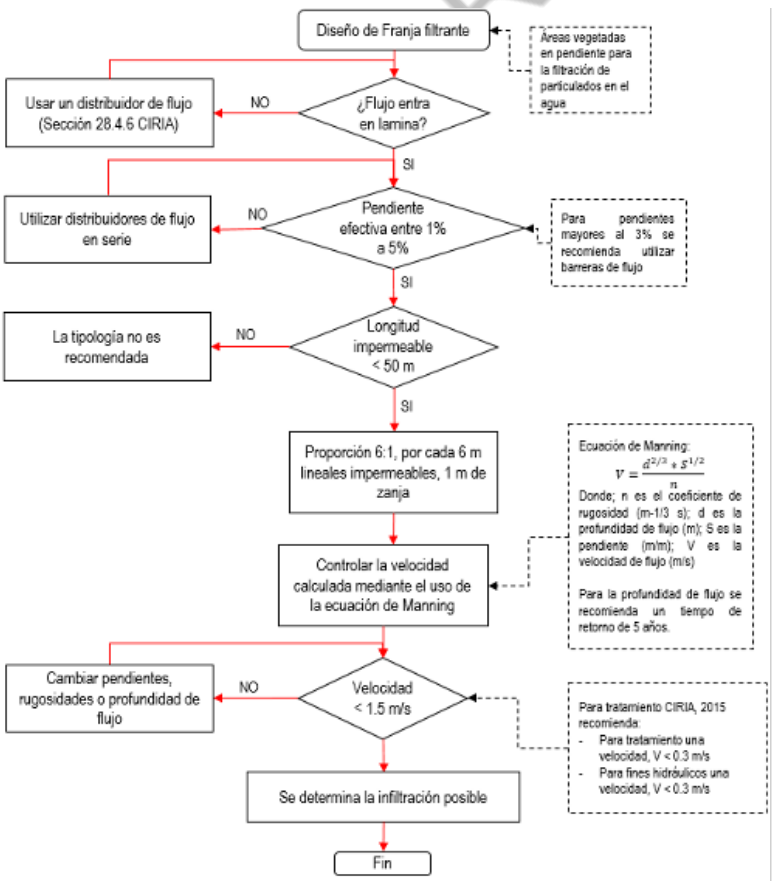


Figura 49. *Diagrama para el diseño de franjas filtrantes.*
Fuente. *Elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) y NS-166 (EAAB, 2018).*

Canales vegetados

Las cunetas verdes (o canales vegetados) deben ser calculadas y diseñadas (figura 50) en función de un caudal en un tiempo de retorno especifico Qb, según la norma técnica NS-166 (EAAB, 2018), se contempla el material, pendiente, distribución del flujo, entre otros (ver tabla 16).

Estructura	Parámetros	Valor	Unidades
Cuneta verde	Pendiente lateral del canal Z:1	>3:1	Relación H:V
	Pendiente de diseño (S)	> 0.01	m/m
	Velocidad de diseño (V_d)	< 0.50	m/s
	Profundidad de flujo (d)	< 0.30	m
	Ancho de fondo de la cuneta (W_b) (Geometría trapezoidal)	> 0.50	m
	Número de froude (F)	0.50	Adimensional

Tabla 16. *Parámetros para el diseño de cunetas verdes.*
Fuente. *NS-166 (EAAB, 2018)*

Para más información referirse al capítulo 4 sección 4.5.3.1 de la norma NS-166 (EAAB, 2018).

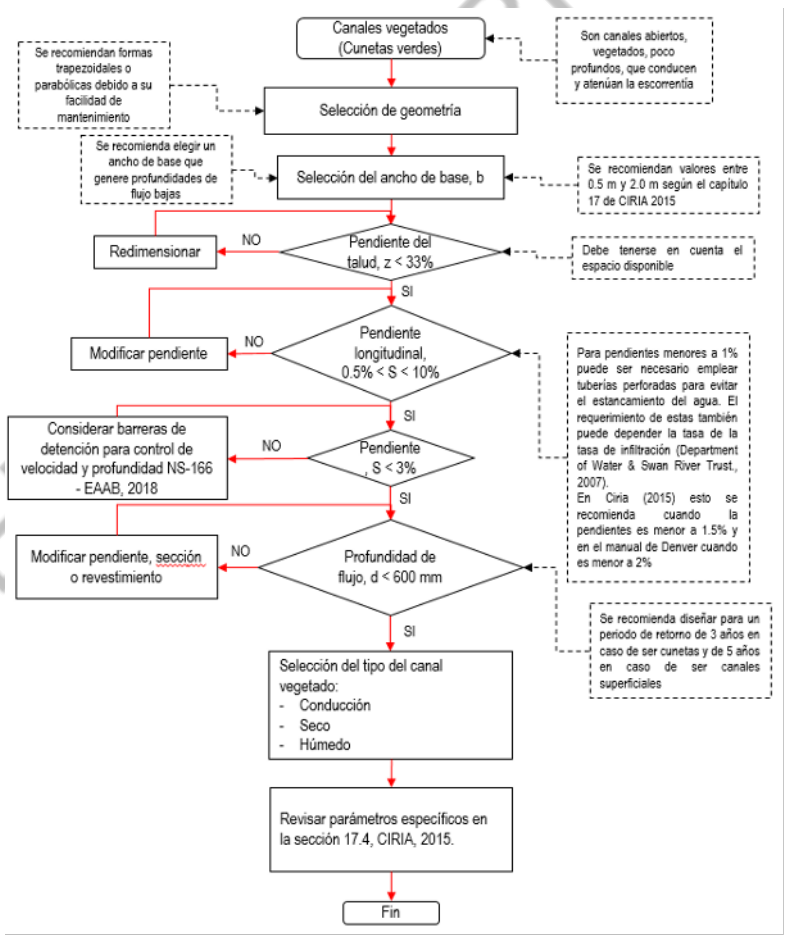


Figura 50. *Diagrama para el diseño de canales vegetados.*
Fuente. *Elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) y NS-166 (EAAB, 2018)*

Humedales artificiales

El tamaño del humedal artificial depende de la capacidad requerida en el sitio de implantación para disminuir el riesgo de inundación. Pueden diseñarse con periodos de retorno de 10, 30, 100 y hasta 200 años de acuerdo la metodología de CIRIA Norfolk Country Council (2015). El tamaño del humedal, el material de diseño, y el tipo de humedal a considerar (volumen completo de agua, relleno con geo celdas, gravas, etc.), y otros parámetros de diseño, se recomiendan consideren lo concebido en el capítulo 23, del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). En la figura 51 se encuentra un diagrama para el diseño de esta tipología.

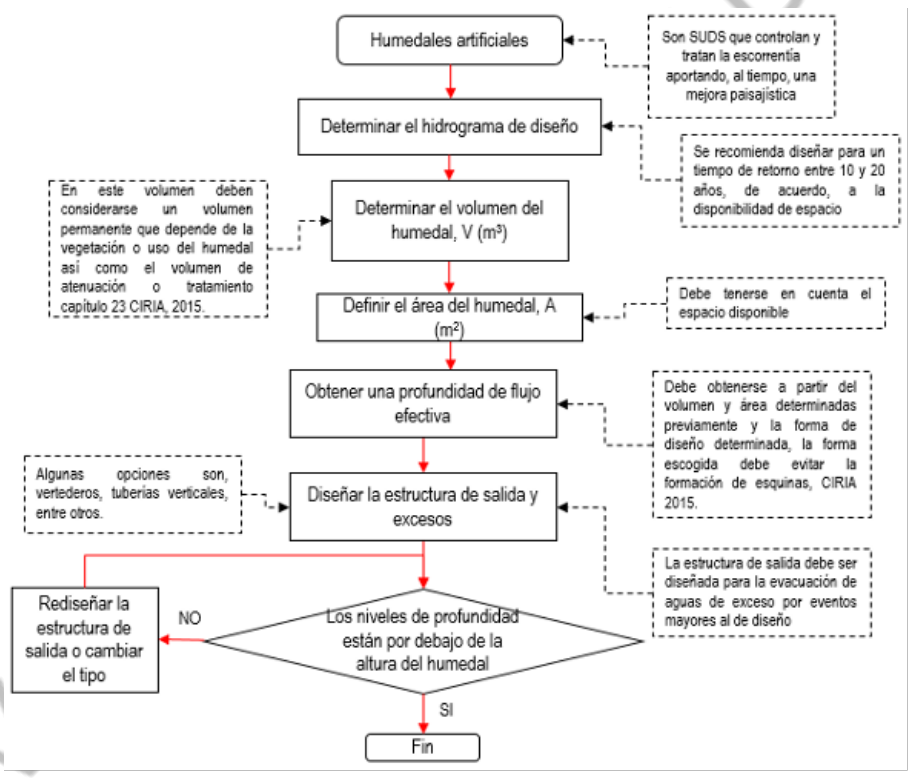


Figura 51. *Diagrama para el diseño de humedales artificiales.*
Fuente. *Elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).*

Estanques de detención multifuncionales

Se diseñan teniendo en cuenta el tratamiento y el almacenamiento de agua, considerando caudal inicial o volumen de tratamiento. En el capítulo 22 del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015), se presentan las diferentes consideraciones para esta tipología. Uno de los elementos claves en esta tipología es su geometría, la cual se recomienda que cuente con formas curveadas, que no obedezcan a un perfil geométrico con aristas vivas (a menos que tenga un segundo uso, como el caso de sitios deportivos, donde puede haber consideraciones adicionales).

La relación larga/ancho recomendada oscila entre 3:1 y 5:1. Las pendientes de las márgenes se recomienda máximo una relación 1:3, es decir una pendiente del 33%.

El Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015), recomienda emplear como máximo profundidades de 2.0 m de lámina de agua, en estos estanques, sin embargo, las profundidades pueden variar según su ubicación y los requerimiento de las autoridades. El nivel deberá controlarse hidráulicamente, en cualquier caso, considerando las medidas para el manejo de las aguas que puedan infiltrarse o no, decisión que depende del diseño de tratamiento a su vez.

En esta tipología es importante considerar que se presentan dos escenarios posibles. El primero cuando está seco, donde se trata de una depresión vegetada que tiene capacidad de reducir la capacidad de escorrentía superficial e infiltrar una parte de las aguas precipitadas, reduciendo los caudales de escorrentía. Este primer escenario se relaciona con la condición de lluvias poco frecuentes, donde el estanque está seco y se convierte en una depresión vegetada únicamente.

Sin embargo, en algunos casos según el diseño de tratamiento que se requiera, pueden considerarse volúmenes mínimos permanentes de agua, en función de las condiciones específicas al diseño. El segundo escenario, se presenta un caudal tal que fluya de manera superficial, reteniendo las aguas y regulando a través de su estructura de salida, y así, resulta en la atenuación y control de los caudales a la salida de la tipología. Este escenario, se presenta después de los eventos de tormentas que generen la escorrentía suficiente, para que se supere la capacidad de infiltración en el estanque.

En la figura 52 se encuentra un diagrama para el diseño de esta tipología

VERSIÓN BORRADOR

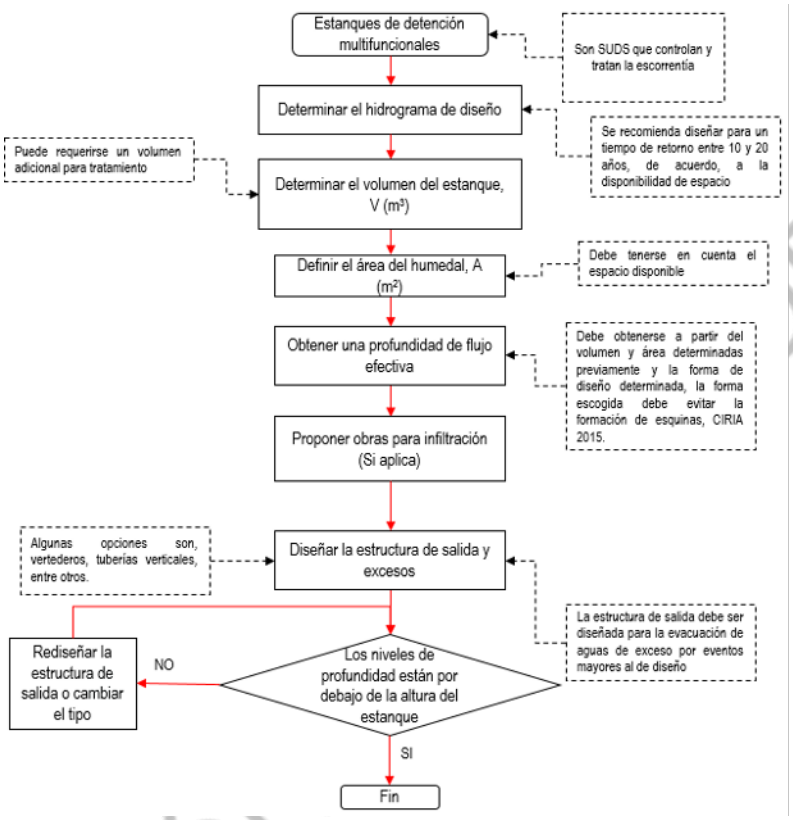


Figura 52. *Diagrama para el diseño de estanques multifuncionales.*
Fuente. *Elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).*

Construcción

En conjunto con la fase de diseño, la construcción debe planearse de tal manera que permita el adecuado funcionamiento de las obras a realizar, que a su vez garantice el desarrollo sostenible de la obra. En ese orden de ideas, es preciso considerar las instrucciones generales que propone el CIRIA Norfolk Country Council (2015) para la construcción y las presentadas en "Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)" (EAAB, 2018).

Aspecto 1. Planeación y programación

- Conocer de manera detallada como se encuentra el sistema de drenaje actual e identificar las tuberías existentes.
- Establecer el orden de ejecución de las actividades, acorde a los diferentes planes de manejo y requisitos específicos de las mismas, para desarrollar construir las obras acordes a las consideraciones de diseño.

Aspecto 2. Plan de manejo de contaminantes y control de sedimentos

- Las aguas de escorrentía de la obra pueden contener lodos y contaminantes, por ello no pueden verterse directamente a los SUDS o cauces, deben tener un tratamiento previo.
- Para contaminantes más específicos debe realizarse un plan de manejo.

Aspecto 3. Plan de accesos y zonas de almacenamiento

- Controlar las cargas que reciben los suelos permeables durante la construcción, con un plan de accesos y rutas.
- Si se plantean superficies permeables y no se va a instalar una protección adecuada para evitar el taponamiento, la construcción del pavimento permeable debe realizarse al final del programa de desarrollo.

Aspecto 4. Habilidades y competencias requeridas para garantizar las buenas prácticas

- El contratista y todo el personal operativo en la construcción debe tener una charla informativa, donde se les comunique de forma general cómo funciona el SUDS y los pasos y aspectos claves necesarios para una buena construcción del SUDS.
- Para lo anterior, es eficaz tener modelos y videos que muestren el funcionamiento general del SUDS.

Aspecto 5. Sistemas de protección contra la infiltración

- Sean empleados SUDS con sistemas de infiltración o no, durante la fase de excavación y rellenos, pueden presentarse niveles de agua, por efecto de las aguas infiltradas que llegan a la zanja lateralmente. El constructor debe considerar el sistema de protección, previamente al inicio de labores.
- En zonas con alta capacidad de infiltración, donde se requiera el paso de vehículos de construcción se recomienda proponer soluciones para evitar que el paso de vehículos cambie la compactación y afecte la capacidad de filtración.

Aspecto 6. Paisajismo

- La buena práctica para el paisajismo es requerida en la construcción de SUDS. Es necesario prestar una adecuada atención a los detalles y a la estética.
- Es importante considerar adecuadas prácticas para la siembra y el establecimiento de la vegetación, como también para el control de la erosión.

Aspecto 7. Control de erosiones

- Se deben considerar estructuras temporales antes de la puesta en marcha para la disipación de la energía y reducción de las velocidades de flujo del agua en los puntos de descarga. Como jardines de biorretención y enrocados.
- Existen varias estructuras para evitar o mitigar este fenómeno entre ellas están la barrera de detención, el enrocado de los SUDS (en puntos de descarga), estructuras de disipación de energía, coberturas vegetales densas, velocidades menores mediante pendientes menores, diseño por capas superficiales de protección, muros de retención, vados, en general todo tipo de estructura que disminuya la energía o velocidad del flujo.

Aspecto 8. Construcción, listas de chequeo e inspección

- Se deben dejar registros del resultado final con la elaboración de planos record.
- Se deben realizar inspecciones en puntos claves, que deberán ser definidos previo al inicio de las actividades de construcción.

VERSIÓN BORRADOR

Aspecto 9. Especificaciones técnicas, materiales y presupuesto

- Los diseñadores deben establecer con un alto grado de detalle todos los anteriores puntos mencionados, Dependiendo del tipo de contrato el constructor debe presentar un documento detallando especificaciones, materiales y presupuesto de construcción.

La fase de construcción (figura 53) o ejecución de un proyecto contempla diferentes etapas sucesivas o traslapadas en el tiempo, que permiten materializar un diseño. El constructor debe considerar todos los equipos y obras temporales necesarias para el manejo de las aguas durante el periodo de construcción. Considerando la magnitud de los eventos probables de precipitación y la escorrentía asociada. Cada proyecto puede tener sus particularidades y requerir o no de algunas fases. Sin embargo, la figura 56 resume las diferentes etapas que podrán presentarse durante la fase de ejecución del proyecto para la construcción de obras tipo SUDS.

Una vez la fase de planeación de la construcción haya sido revisada por el diseñador y el constructor, se podrán iniciar las actividades de obra siguiendo dichas especiaciones. Cabe mencionar que estas prácticas pueden acogerse dentro de los sistemas de certificación en construcción sostenibles. Cuando se desee aplicar a este tipo de certificaciones internacionales, como es el caso de LEED, se debe considerar que existen ciertos requisitos que deben implementarse durante la fase de construcción, desde diferentes aspectos.

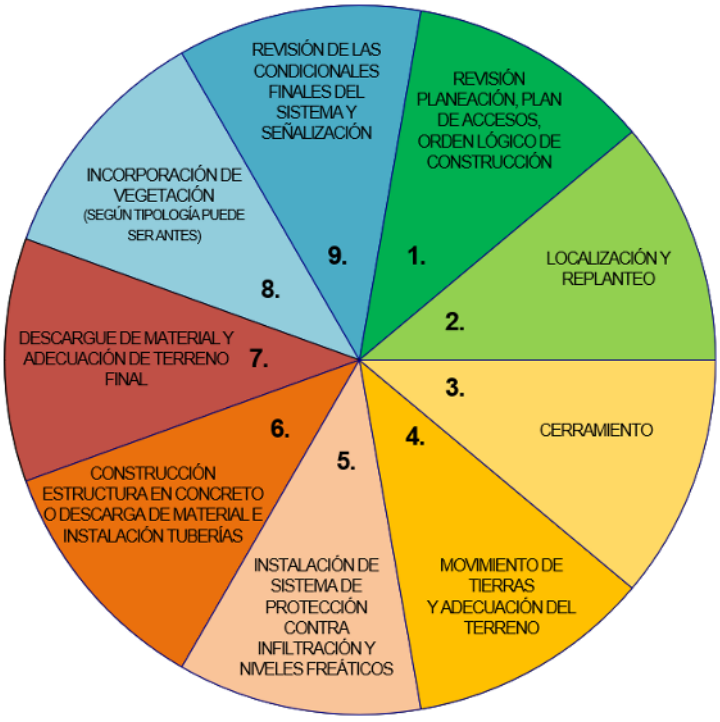


Figura 53. *Esquema de etapas de construcción*

Operación y mantenimiento

La adecuada operación y la sostenibilidad del proyecto a largo plazo pueden depender significativamente del mantenimiento que se le realice. La sostenibilidad debe garantizar que los objetivos y condiciones, para las cuales fue concebido el proyecto se cumplan después de la ejecución de la obra. Para garantizar la sostenibilidad se deberán asegurar diferentes medidas, que depende esencialmente de:

- La capacidad técnica y la gestión, planeada adecuadamente desde la fase de diseño, para garantizar las actividades y la estabilidad de los bienes.
- Los recursos financieros para los gastos de operación y mantenimiento que puedan generarse.

Los costos asociados a la operación y mantenimiento deben considerarse y planearse de acuerdo con los requerimientos técnicos durante la fase de diseño. Para así garantizar que se pueda satisfacer esta necesidad por parte de la entidad responsable del proyecto. En "Lineamientos para el diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS" (Departamento Nacional de Planeación (DNP) & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018) se presentan algunas recomendaciones generales, entre las cuales se destaca la planeación desde la fase de diseño de los costos que pueden incurrir durante esta etapa. La operación y el mantenimiento de los SUDS pueden variar según su tipología. Sin embargo, se debe proporcionar un sistema que garantice el control del comportamiento del sistema, bien sea automatizado o programado.

En los criterios de la NS-166 (EAAB, 2018) se describen algunas estructuras pertinentes para el monitoreo y mantenimiento de SUDS en el apartado 4.6.7, las cuales pueden ser aplicables según cada tipología. En el capítulo 32 del manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) se provee conceptos básicos que se recomienda sean incluidos en la fase de operación y mantenimiento de SUDS. Entre estos ellos se considera:

- Realizar un inventario de todos los SUDS.
- Manual de funcionamiento breve con los componentes del SUDS sus propósitos y sus riesgos.
- Profundidad de sedimentos que mostrarán la necesidad de su remoción.
- Determinar los identificadores visuales que mostraran la necesidad de mantenimiento.
- Planes de acción contra derrames contaminantes.
- Otras especificaciones.

En las secciones 32.6, 32.7 y 32.8 del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) se mencionan en más detalle los planes de mantenimiento regular, ocasional y correctivo, respectivamente. A continuación, se resumen cada una de estas actividades. En la tabla 17 se indican las principales actividades que pueden ser requeridas en las tipologías de SUDS.

Actividades regulares

En este tipo de actividades se inspeccionan las entradas y salidas de los SUDS. A su vez, se buscan bloqueos o indicadores de problemas tales como malos olores, muerte de vegetación, exceso de limos o sedimentos, daños estructurales, erosión o sobrecarga de bancas.

Actividades ocasionales

Estas actividades son fundamentales para extender la vida útil de los SUDS. Incluye la remoción sedimentos de todos los componentes que puedan almacenar limos, arenas o sedimentos que disminuyan o bloqueen las funciones de la tipología de SUDS. Se debe observar el estado de la vegetación y realizar los reemplazos requeridos.

VERSIÓN BORRADOR

Actividades correctivas

En estas actividades se elaboran rehabilitaciones estructurales y reparaciones tales como reemplazo de filtros, geotextiles y gravas filtrantes. Se deben remover zonas de material orgánico que bloqueen los filtros o que se estén compactando disminuyendo la efectividad de los SUDS. Esto puede hacerse mediante la escarificación usando tractores. Se deben revisar las capacidades de infiltración y realizar correcciones mediante el uso de tratamiento de inyección de aire al suelo mediante bombas de alta presión que mejoren las capacidades de infiltración del suelo.

Actividad	Tipología de SUDS									
	Techos azules[1]	Tanques	Zanjas filtrantes	Jardines de biorretención	Pavimentos permeables	Alcorques	Franjas filtrantes	Canales vegetados	Humedales artificiales	Estanques de detención multifuncionales
Mantenimiento regular										
Inspección	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Remoción de residuos	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●
Poda de césped			○	●	○	○	●	●	●	●
Control de hierbas y especies invasivas			○	○	○	○	○	○	○	○
Manejo de arbustos (incluye poda)				○		○	○	○	○	○
Manejo de vegetación de ribera									●	○
Manejo de vegetación acuática									●	○
Mantenimiento ocasional										
Manejo de sedimentos*	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Reemplazo de vegetación				○		○	○	○	○	○
Aspirado y cepillado					●					
Mantenimiento correctivo										
Reparación y rehabilitación de estructuras	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Reacondicionamiento de la superficie de infiltración			○	○	○	○	○	○		

Tabla 17. *Principales actividades de operación y mantenimiento.*
Fuente. *Adaptado de CIRIA Norfolk Country Council (2015)*

*● Se requiere. ○ Depende de los componentes del sistema y dinámicas del sitio, *Los sedimentos deben ser recolectado y manejados en sistemas de pretratamiento, 1Philadelphia Water Department. (2015)*

VERSIÓN DOP

2.4.

Selección de alternativas

VERSIÓN BORRADOR

Este apartado sobre la selección de alternativas para el manejo de la escorrentía contempla las estrategias para las tres escalas que se pueden aplicar edificio y/o propiedad, calle y espacio abierto. Dado que la selección debe partir de la comprensión de las características físicas y ecológicas del área, tipo de suelo, patrones de flujo, topografía y áreas naturales adyacentes (Toronto and Region Conservation Authority & Credit Valley Conservation, 2010). Se recomienda que esta se base en las problemáticas identificadas en la ciudad de Cali. De este modo, se propone una metodología en la que se considera la priorización de Unidades de Gestión de Análisis (UGA) para establecer los objetivos de implementación y llevar a cabo la selección posterior a partir del área disponible y el desempeño esperado de las tipologías. En la figura 54 se presenta la metodología propuesta, esta se compone de siete (7) pasos generales: (1) identificación de objetivos, (2) identificación de oportunidades, (3) identificación del área disponible, (4) evaluación de la factibilidad para la implementación de SUDS, (5) identificación de oportunidades para el desarrollo de estrategias, (6) determinación de trenes, y (7) selección de alternativas. La metodología contempla la escala de ciudad y desarrollo urbano.

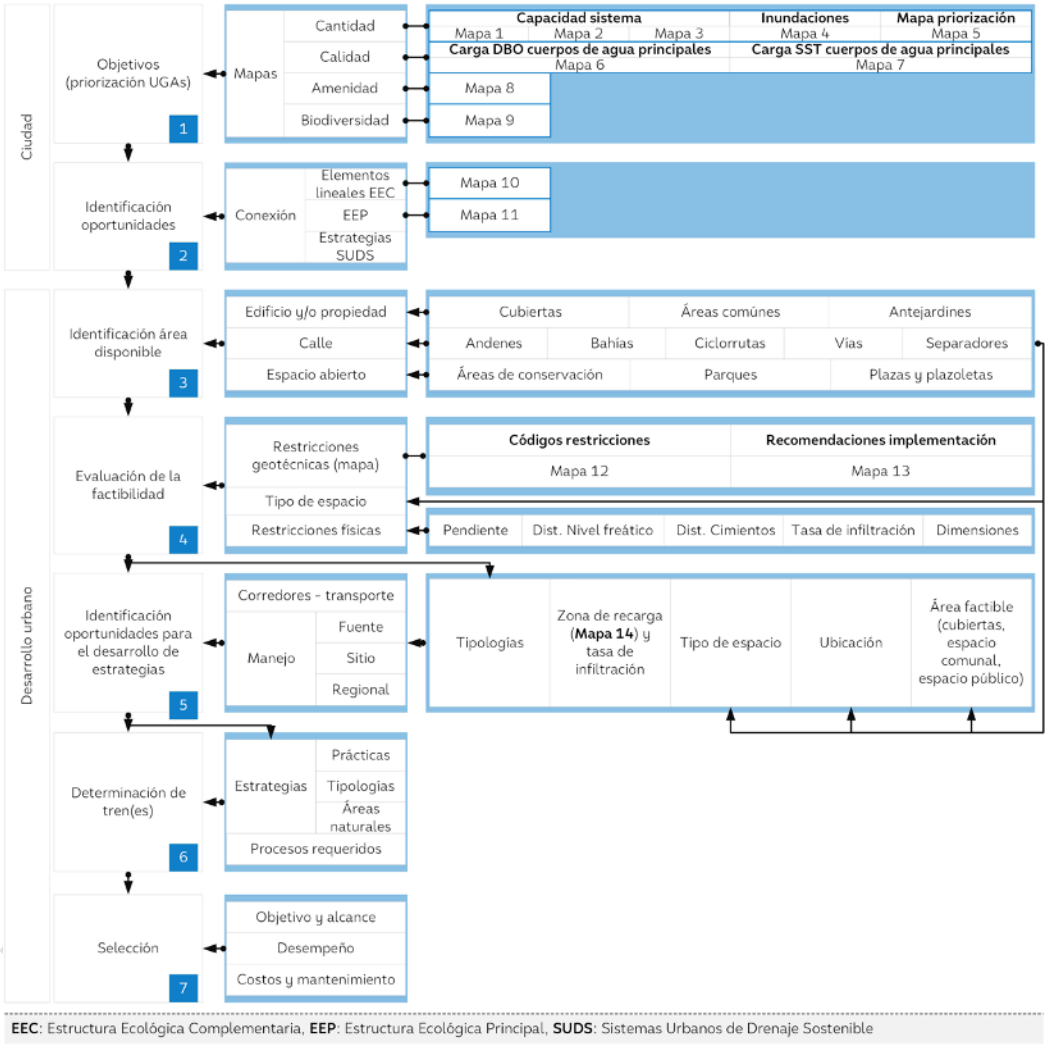


Figura 54. *Aproximación recomendada para la selección de estrategias.*
Fuente. *Basado en metodología de Jiménez Ariza et al. (2019).*

Paso 1: Identificación de objetivos

Los objetivos se establecen a partir de las UGAs priorizadas en relación con problemas de cantidad (ver figura 55 a figura 59), calidad (ver figura 60 y figura 61), amenidad (ver figura 62) y biodiversidad (ver figura 63). Como resultado de este paso es posible identificar aspectos calificados con un nivel de prioridad alto, los cuales serán los principales objetivos para la selección y diseño de las estrategias de manejo del agua pluvial. A su vez, la importancia de los otros aspectos constituye una guía al momento de asignar pesos para cada aspecto y comparar las estrategias propuestas.

El mapa presentado en la figura 62 corresponde al nivel estimado de prioridad para el manejo de cantidad de acuerdo con la capacidad hidráulica del sistema de drenaje, las áreas de amenaza por inundación pluvial y fluvial, y los puntos críticos de inundación. Esta priorización se estableció a partir del análisis de los resultados del estudio realizado por IGEI (2020) para definir SUDS en Santiago de Cali y del estudio de inundaciones realizado por la Universidad del Valle (2019). Para la interpretación del nivel de prioridad de los mapas de calidad, correspondientes a los resultados del estudio de IGEI (2020), se propone emplear la . En esta tabla se asigna un nivel de prioridad conjunta de acuerdo con los rangos designados en dicho estudio para la carga de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

De manera similar, la priorización para amenidad y biodiversidad corresponde a los resultados presentados en el estudio de IGEI (2020), el cual consideró el censo arbóreo, presencia de espacio público y contigüidad con el sector rural. En la medida en que se cuente con más información georreferenciada sobre la población y los ecosistemas se recomienda considerar criterios adicionales para esta priorización.

SST	DBO			
	Sin calificación	Bajo (0-157 ton/año)	Medio (158-227 ton/año)	Alto (>227 ton/año)
Sin calificación	No aplica	Baja	Media	Alta
Bajo (0-272 ton/año)	Baja	Baja	Media	Alta
Medio (273-434 ton/año)	Media	Media	Alta	Alta
Alto (>434 ton/año)	Alta	Alta	Alta	Alta

Tabla 18. *Priorización propuesta por calidad.*

VERSIÓN BORRADOR

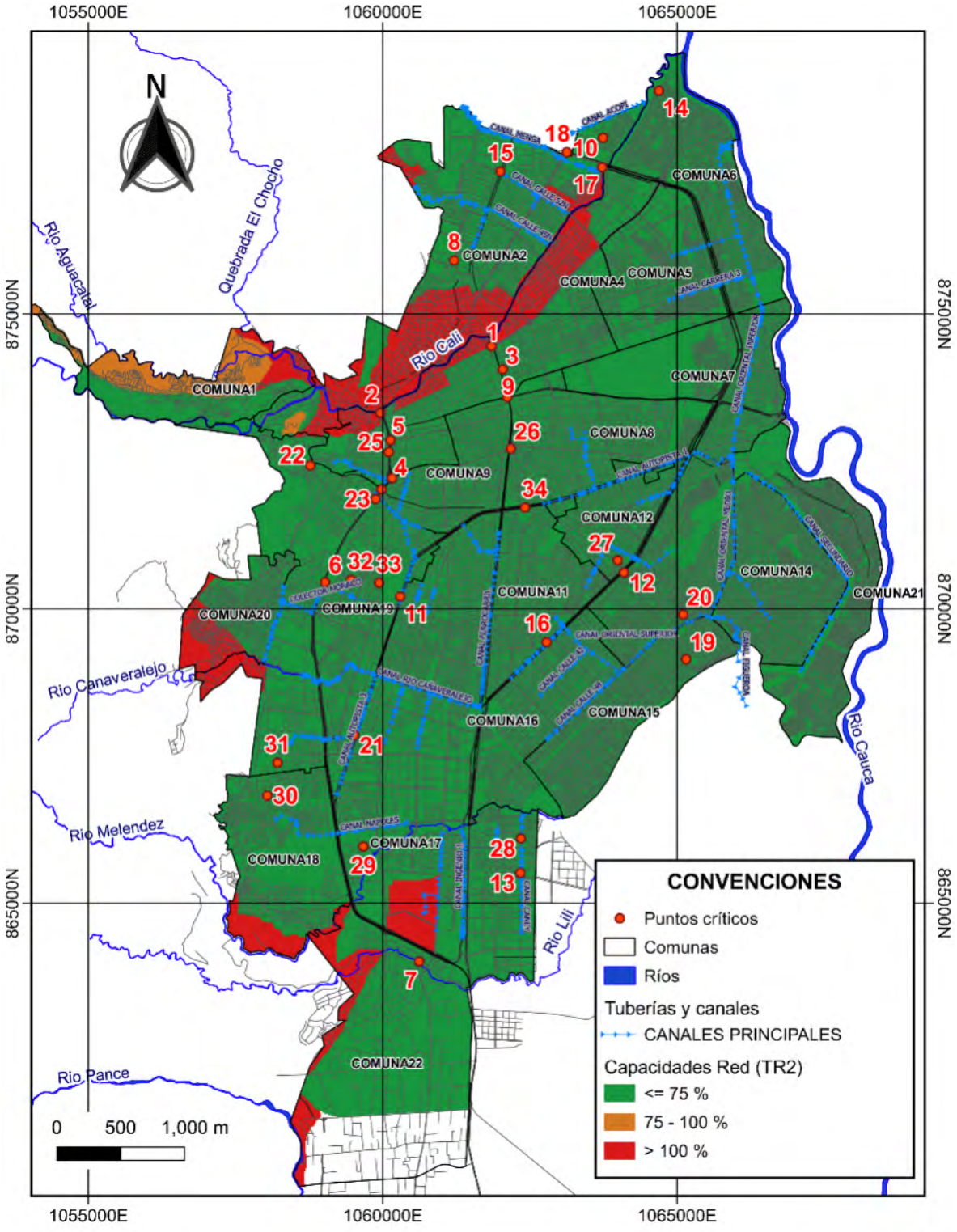


Figura 55. *Mapa 1: Mapa de amenaza por capacidad red pluvial (Tr 2 años).*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c, 2018b); IDESC, (2014); IGEI (2020)*

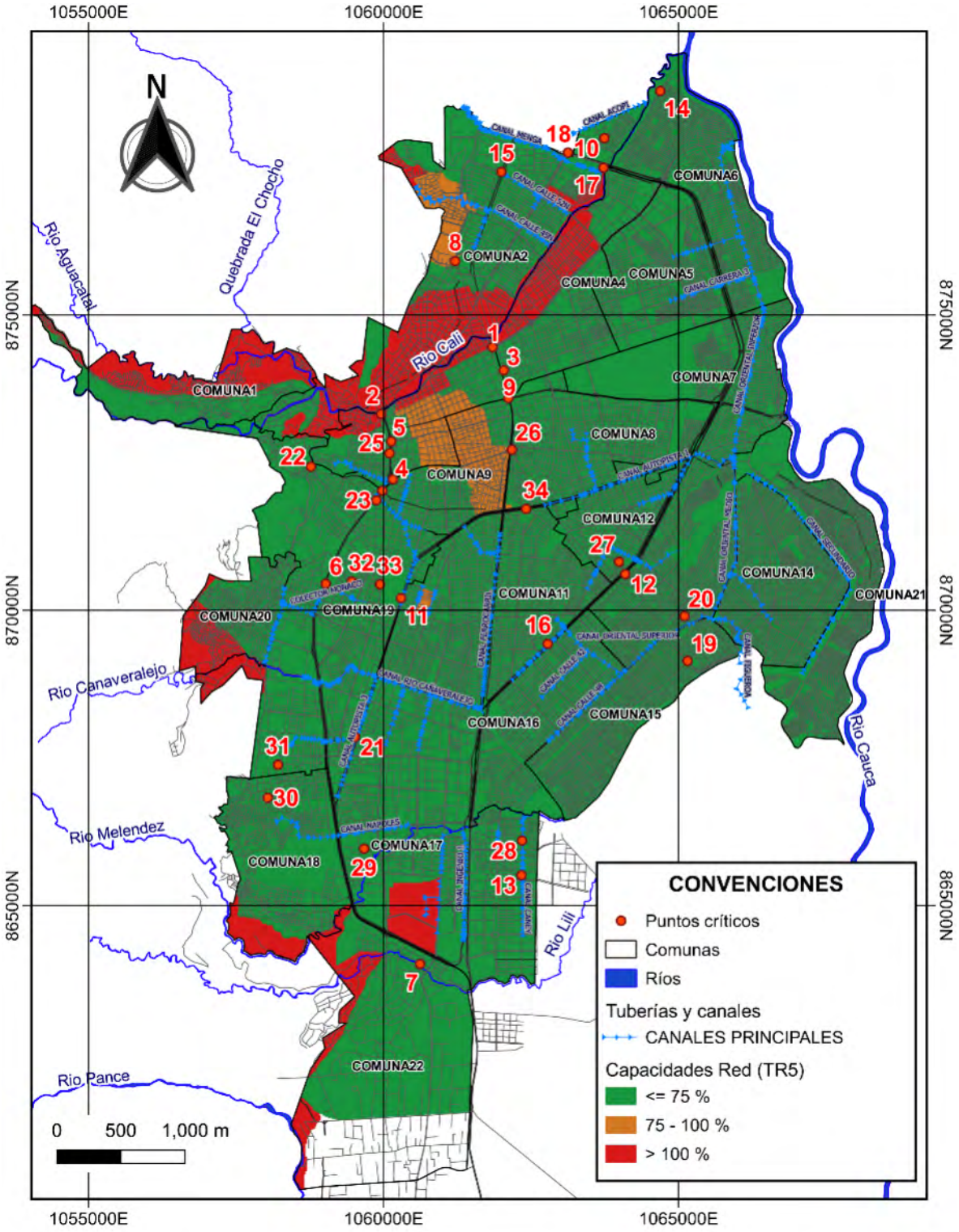


Figura 56. *Mapa 2: Mapa de amenaza por capacidad red pluvial (Tr 5 años).*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c, 2018b); IDESC, (2014); IGEI (2020).*

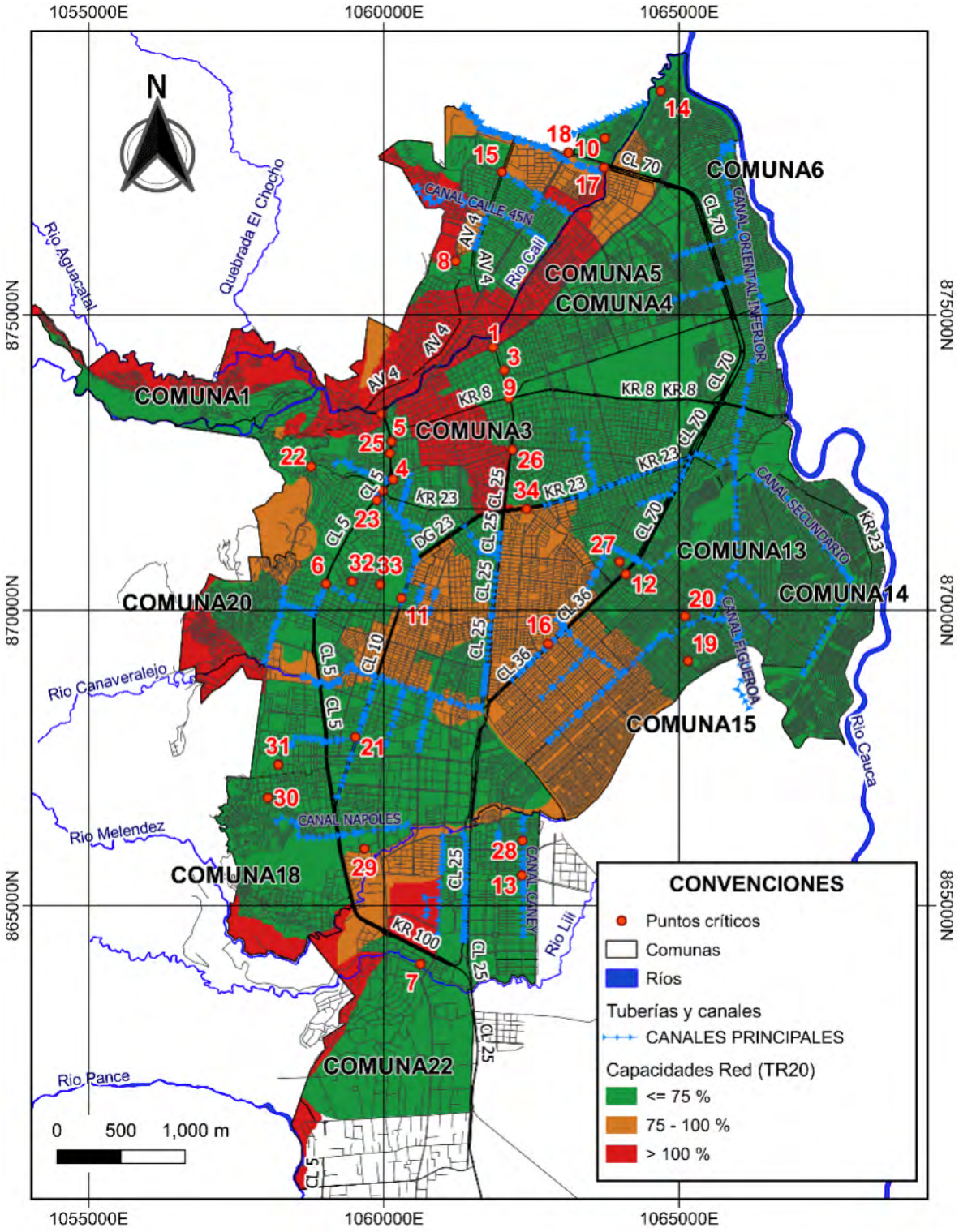


Figura 57. *Mapa 3: Mapa de amenaza por capacidad red pluvial (Tr 20 años).*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c, 2018b); IDESC, (2014); IGEI (2020).*

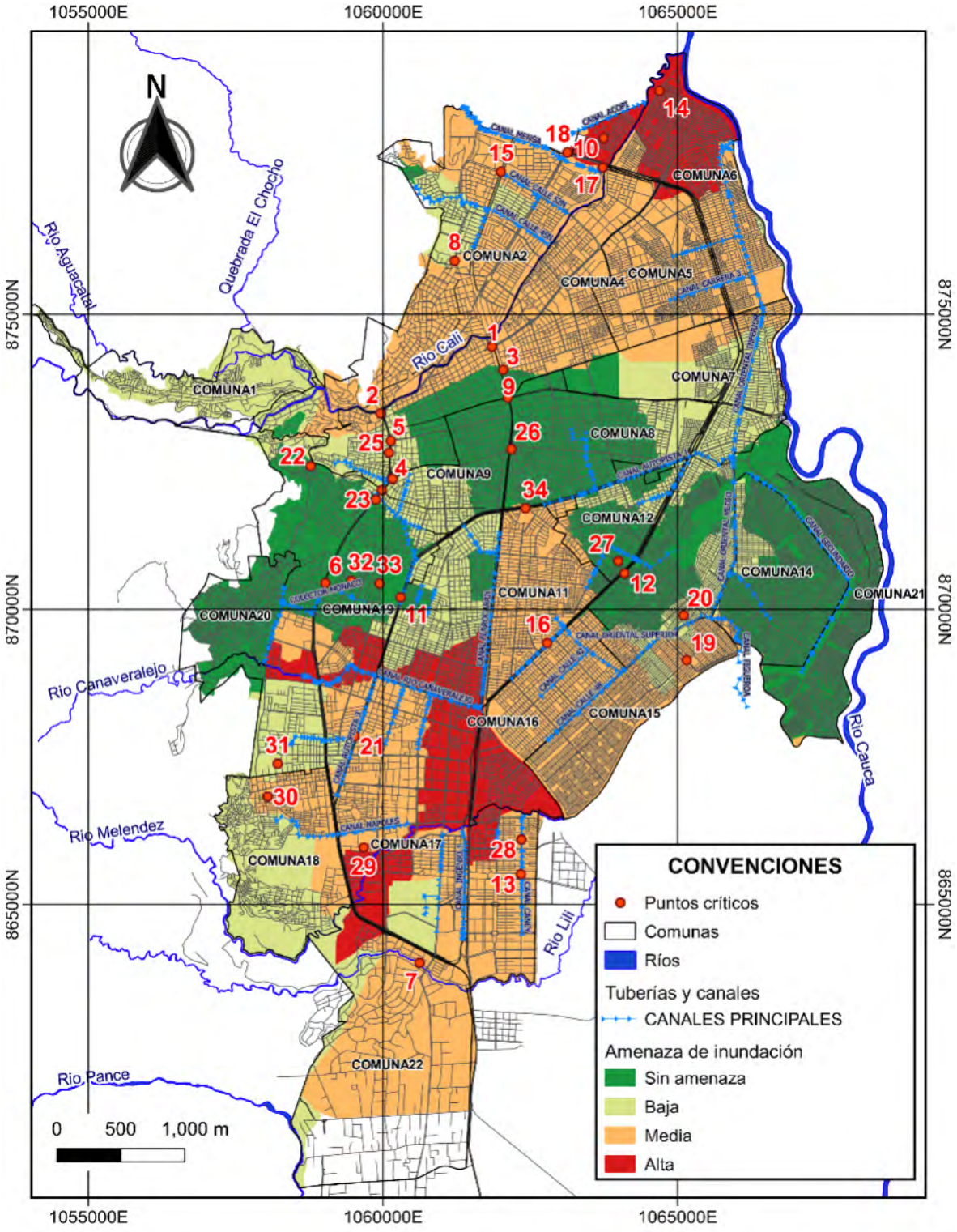


Figura 58. *Mapa 4: Priorización por amenaza de inundación fluvial y pluvial.*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c, 2018b); IDESC (2014); IGEI (2020); Universidad del Valle (2019).*

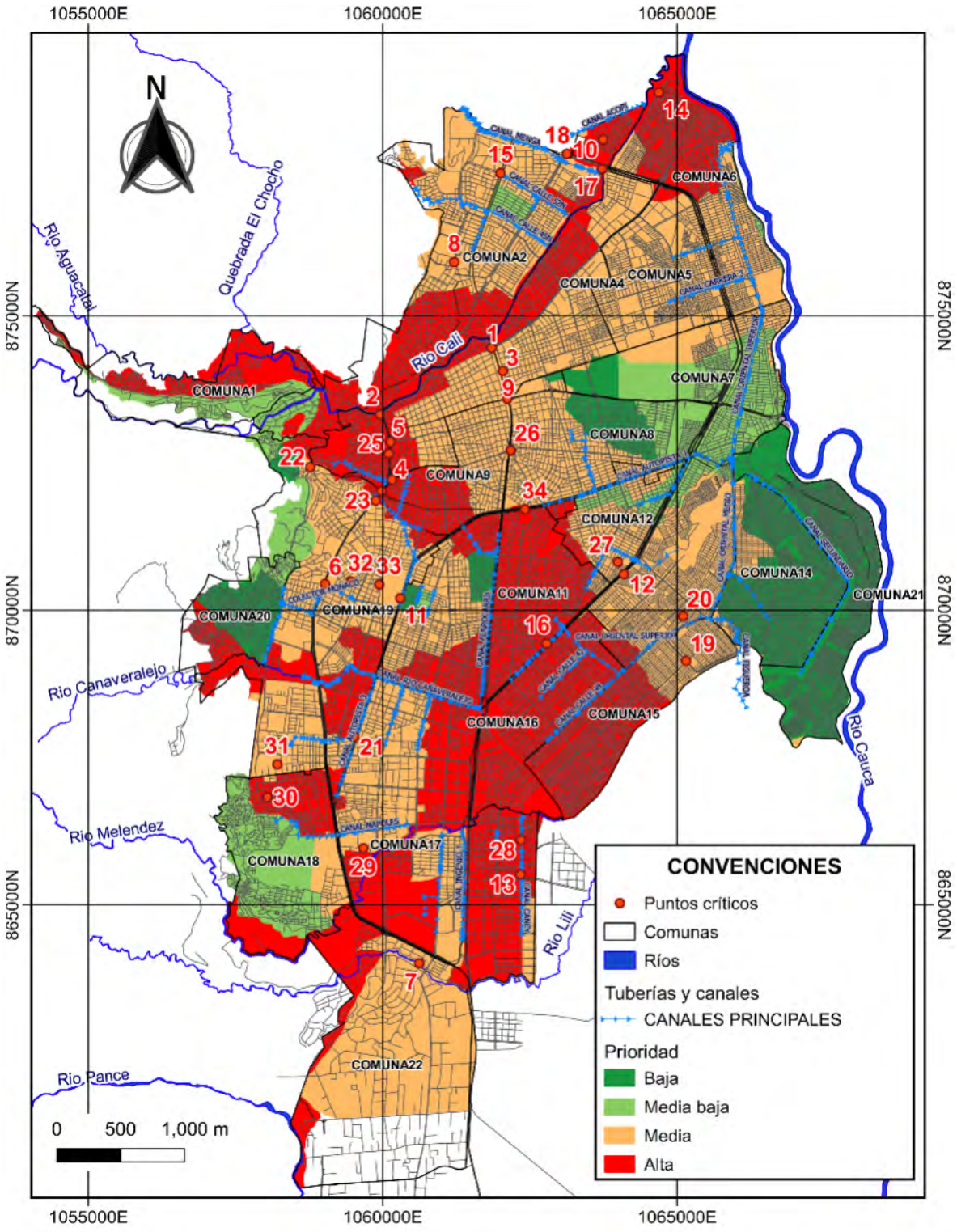


Figura 59. *Mapa 5: Priorización por cantidad.*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c, 2018b); IDESC (2014); IGEI (2020); Universidad del Valle (2019)*

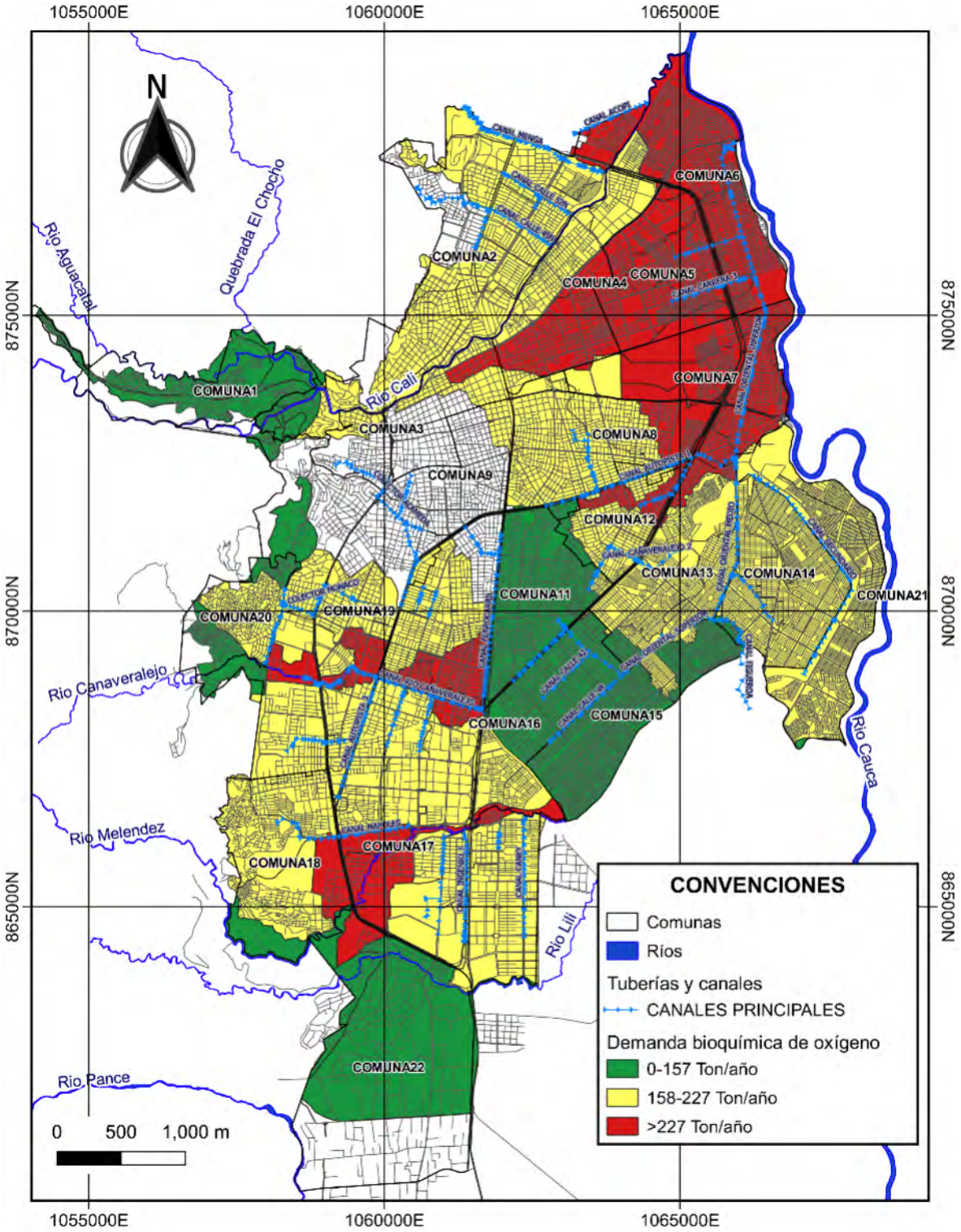


Figura 60. *Mapa 6: Mapa de priorización por calidad del agua de acuerdo con la carga de DBO.*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c); IDESC (2014); IGEI (2020).*

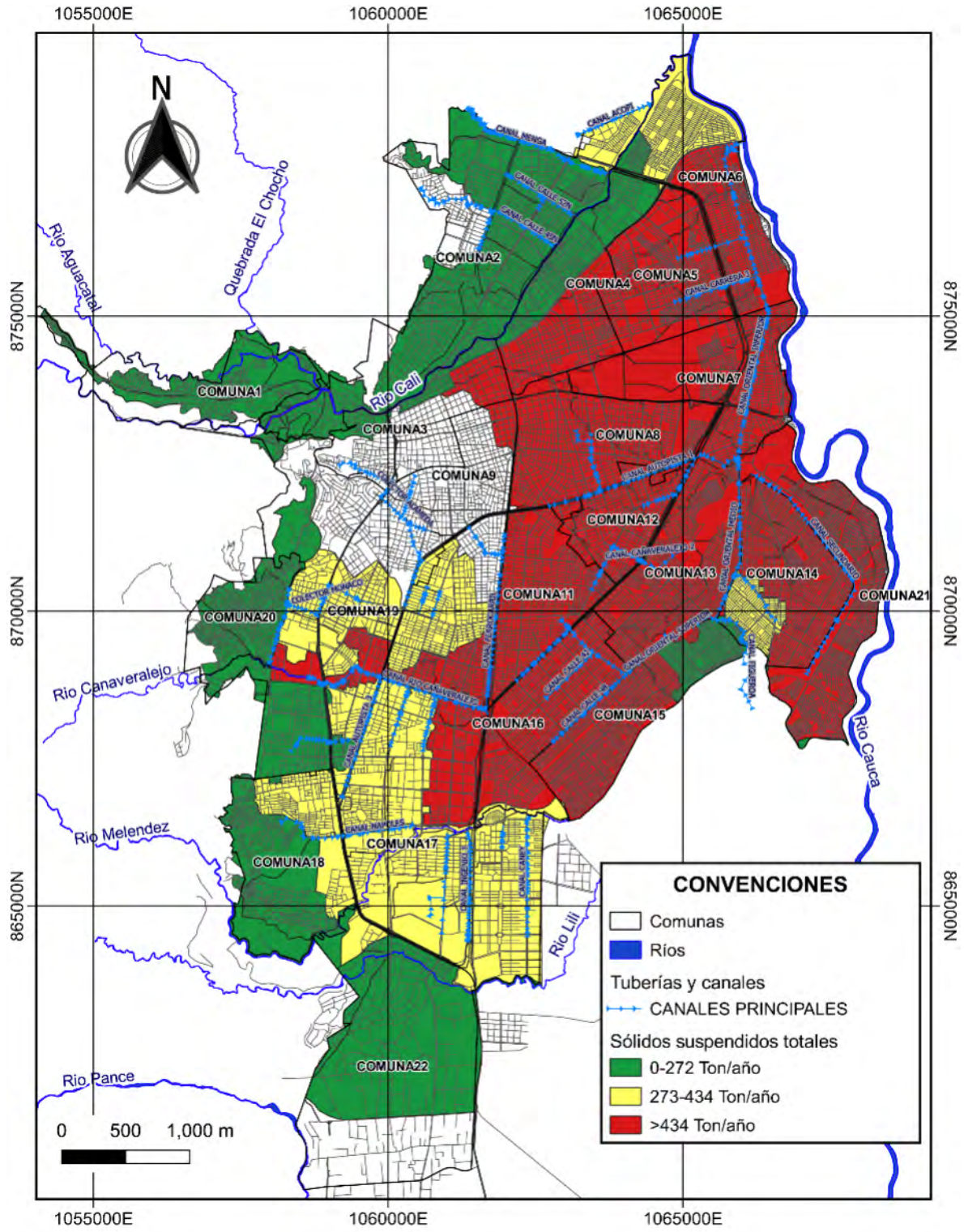


Figura 61. *Mapa 7: Mapa de priorización por calidad del agua de acuerdo con la carga de SST.*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c); IDESC (2014); IGEI (2020).*

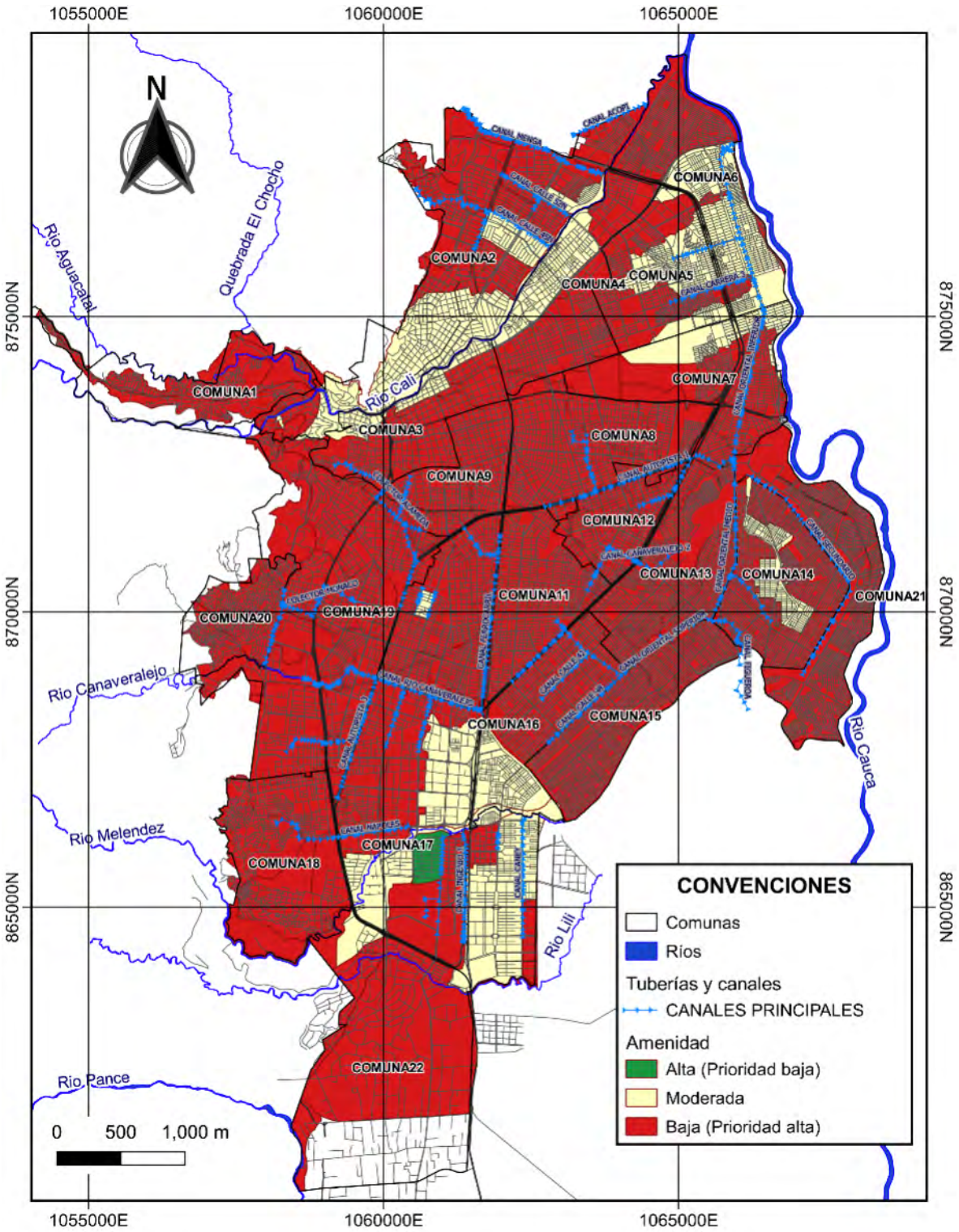


Figura 62. *Mapa 8: Mapa de priorización por amenidad.*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c); IDESC (2014); IGEI (2020).*

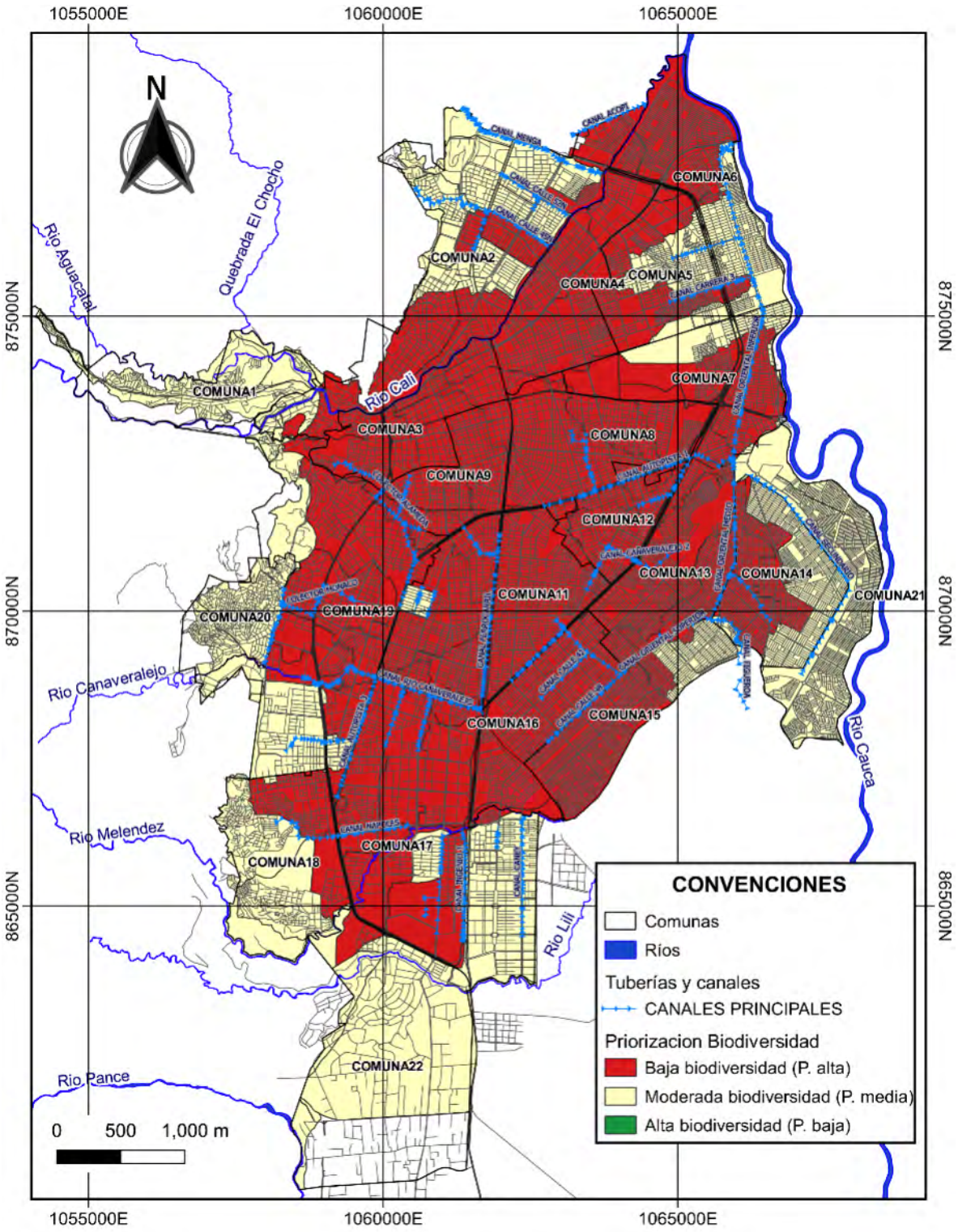


Figura 63. *Mapa 9: Mapa de priorización por biodiversidad.*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c); IDESC (2014); IGEI (2020).*

Paso 2: Identificación las oportunidades

Se identifican las oportunidades para integrar el manejo de la escorrentía con corredores, áreas naturales y otras tipologías de SUDS, de manera que se incrementen los beneficios que potencialmente pueden proveer estos sistemas y se contribuya a la conectividad de los ecosistemas. De acuerdo con lo propuesto por IGEI (2020) para la conformación de corredores de conectividad ecológica, se deben reconocer elemento lineales de la Estructura Ecológica Complementaria (EEC) y elementos de la Estructura Ecológica Principal (EEP), los cuales se presentan en la figura 64 y la figura 65. Estas figuras incluyen el área urbana de los mapas presentados en la Cartografía oficial del Acuerdo 0373 del 2014 — POT (Departamento Administrativo de Planeación Municipal, 2014). Por otro lado, en la medida en que se construyan tipologías de SUDS, se deberá evaluar la oportunidad de integrarlas a nuevos esquemas de manejo del agua pluvial.

Paso 3: Identificación del área disponible

Posteriormente, se propone identificar el área disponible de acuerdo con tres tipos de componentes urbanos: edificio y/o propiedad, calle y espacio abierto. Cada una de estas áreas tiene un potencial diferente para el manejo de la escorrentía derivado del tamaño y ubicación, por lo que es necesario un inventario de las áreas disponibles y sus características. Con esta información se pueden proponer los SUDS de acuerdo a las estrategia propuestas en este manual (ver tabla 6).

Paso 4: Evaluación de la factibilidad

Para su desarrollo de la evaluación de la factibilidad se deben considerar de manera preliminar las restricciones establecidas en el estudio de IGEI (2020) de acuerdo con las características de los suelos (IGEI, 2020). La figura 66 presenta los códigos de restricciones definidos para las distintas áreas. Como se indica en la tabla 19, estos códigos se refieren a limitaciones para procesos de infiltración y almacenamiento considerando aspectos como la ubicación del acuífero, permeabilidad del suelo y pendiente. Si bien la existencia de zonas de recarga pueden constituir áreas de oportunidad es fundamental evaluar la calidad de la escorrentía y garantizar una calidad adecuada para no afectar la calidad del agua subterránea.

La figura 67 resume las restricciones y establece recomendaciones generales, correspondientes a seis (6) posibles escenarios: (1) almacenamiento e infiltración no eficiente; (2) almacenamiento, infiltración no eficiente y controlada debido a la calidad del agua; (3) almacenamiento, infiltración no eficiente y controlada debido a la infraestructura; (4) almacenamiento, infiltración no eficiente y controlada debido a la calidad del agua e infraestructura; (5) almacenamiento con un alto grado de intervención; y (6) ninguna tipología de SUDS es recomendable. En la mayoría de estos escenarios el proceso recomendado es el almacenamiento y se presentan restricciones para la infiltración. En los escenarios uno (1) al cuatro (4), la tasa de infiltración es baja por lo que el volumen que podría infiltrarse en el área es limitado. Los escenarios dos (2) al cuatro (4) indican que los procesos de infiltración deben ser controlados para evitar afectar la calidad del agua subterránea o la infraestructura cercana. En el escenario cinco, se indica que el desarrollo de procesos de almacenamiento solo puede ser posible si se llevan a cabo grandes intervenciones en el área.

VERSIÓN BORRADOR

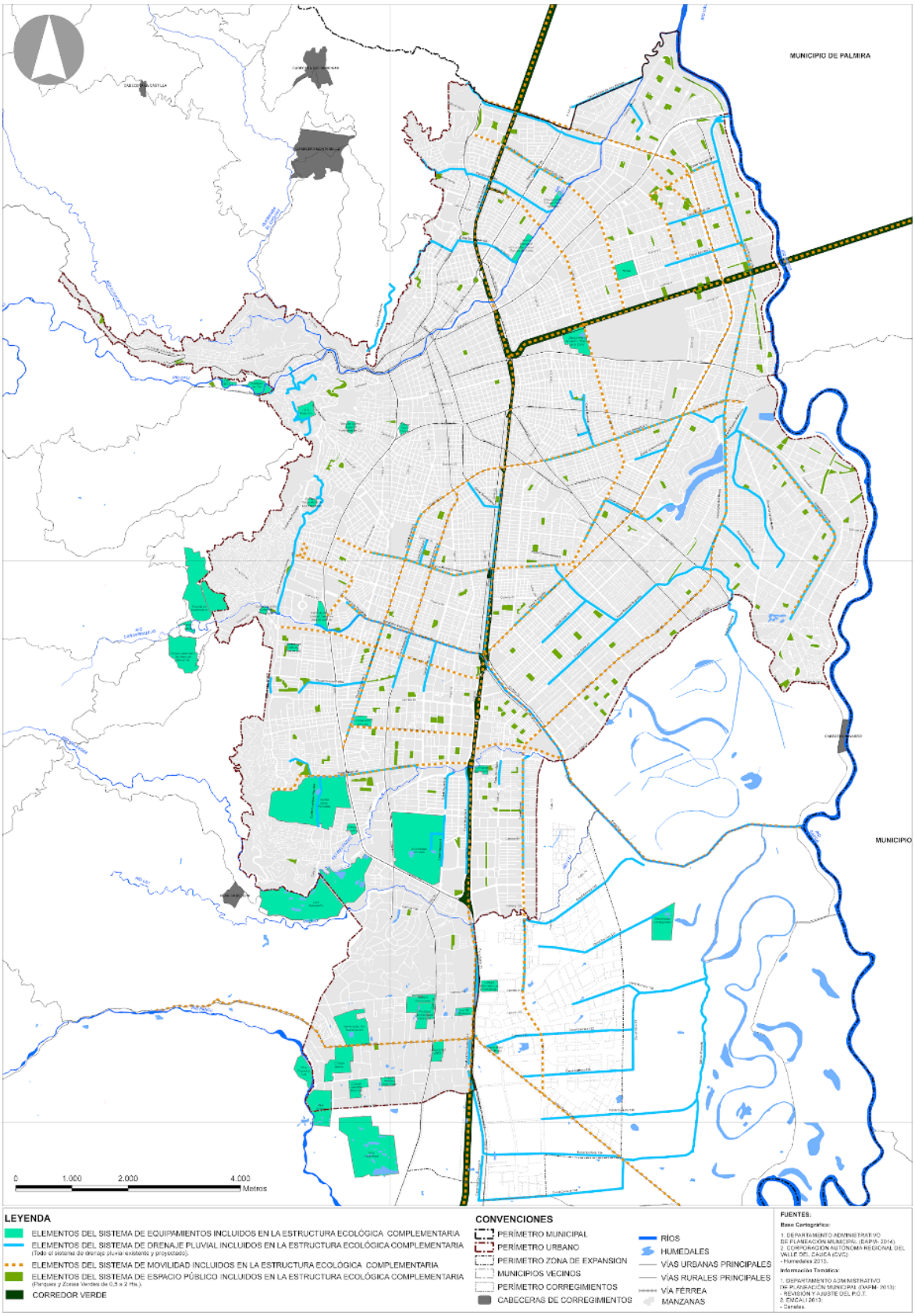


Figura 64. *Mapa 10: Estructura ecológica complementaria.*
Fuente. *Departamento Administrativo de Planeación Municipal (2014).*

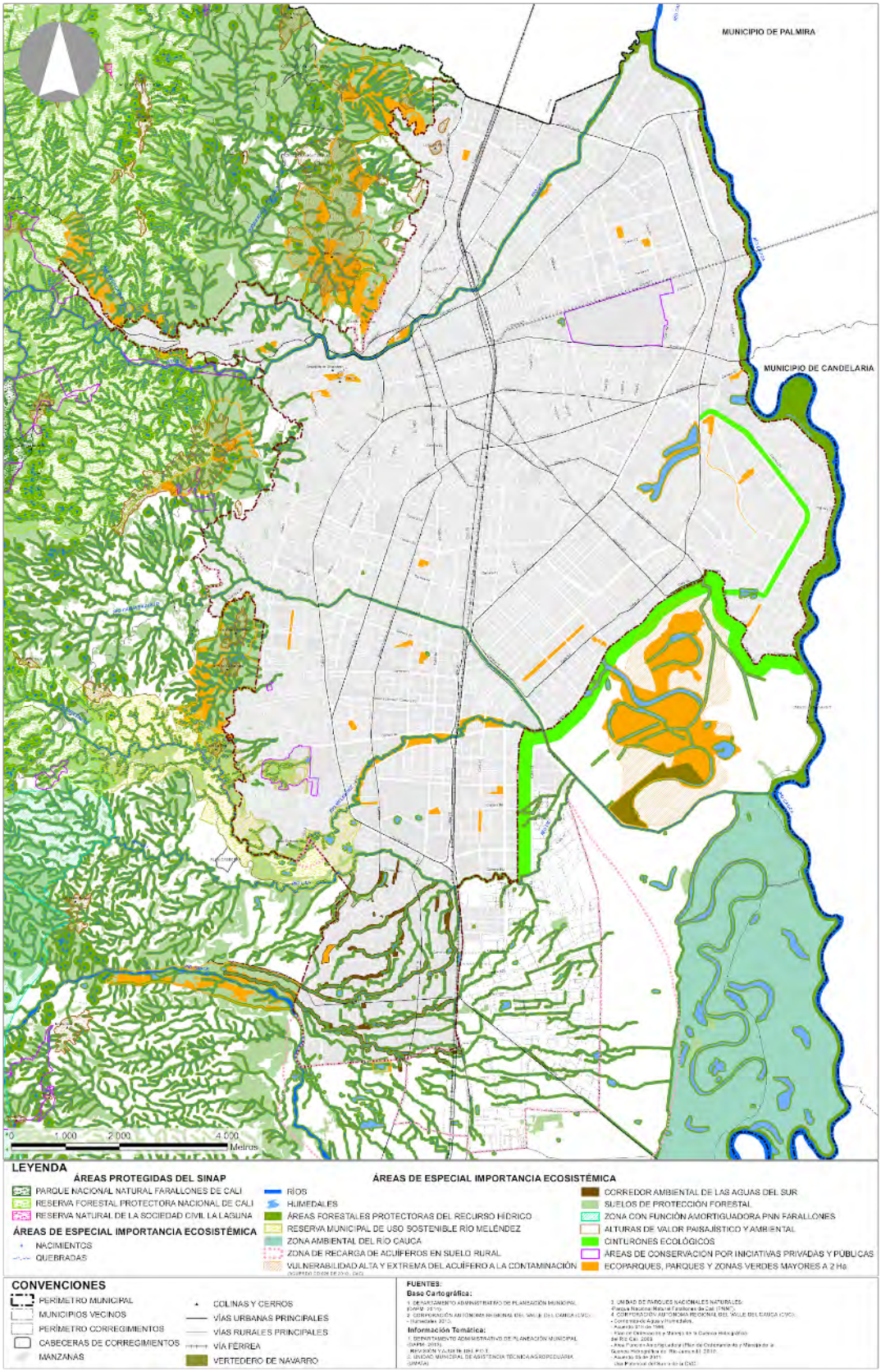


Figura 65. *Mapa 11: Estructura ecológica principal.*
Fuente. *Departamento Administrativo de Planeación Municipal (2014)*

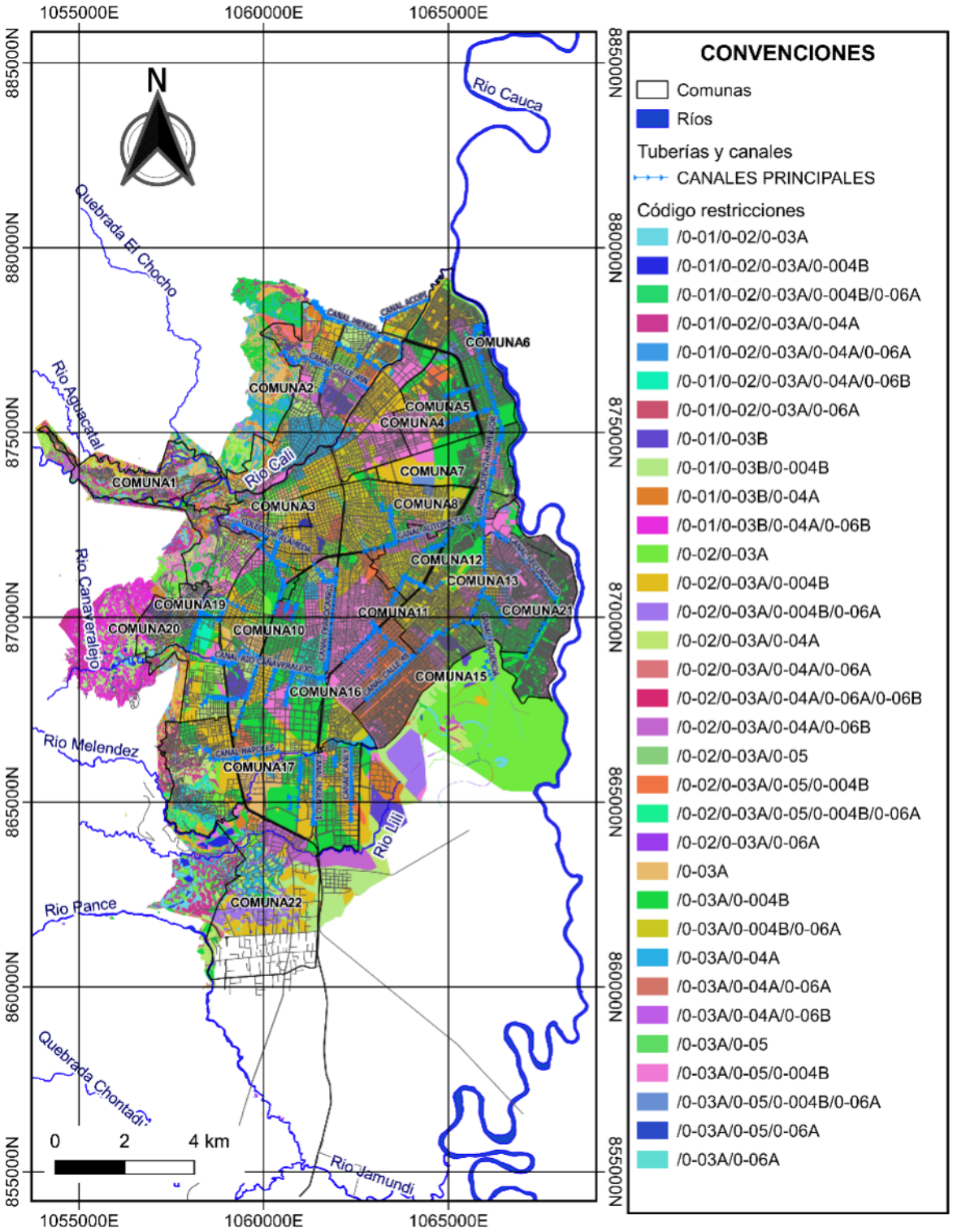


Figura 66. *Mapa 12: Mapa de restricciones.*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c); IDESC (2014); IGEI (2020).*

Código	Característica	Restricción					
		Litológica	Vulnerabilidad	Permeabilidad	Morfológica	Contracto-expansividad	Dinámica superficial
O-01	Macizos rocosos	Uso limitado de SUDS					
O-02	Granulometría y posición del acuífero		Almacenamiento superficial Infiltración limitada**				
O-03A	Baja permeabilidad: textura y granulometría subsuelo			Almacenamiento superficial Infiltración no eficiente			
O-03B	Alta permeabilidad			Almacenamiento superficial Infiltración limitada**,***			
O-04A	Alta pendiente				Infiltración*		
O-04B	Muy baja pendiente				Infiltración* Detención		
O-05	Tipo de arcilla					Almacenamiento superficial Infiltración limitada***	
O-06A	Paleodrenajes o cuerpos fluviales						Almacenamiento superficial (regulación)
O-06B	Laderas						Ninguna tipología de SUDS

Tabla 19. *Código de restricciones.*
Fuente. *Adaptado de IGEI (2020).*

** En ausencia de códigos anteriores, ** la infiltración se encuentra limitada por la posible contaminación del acuífero, *** se debe evaluar si la infraestructura puede resultar afectada y/o incluir barreras o flujos controlados*

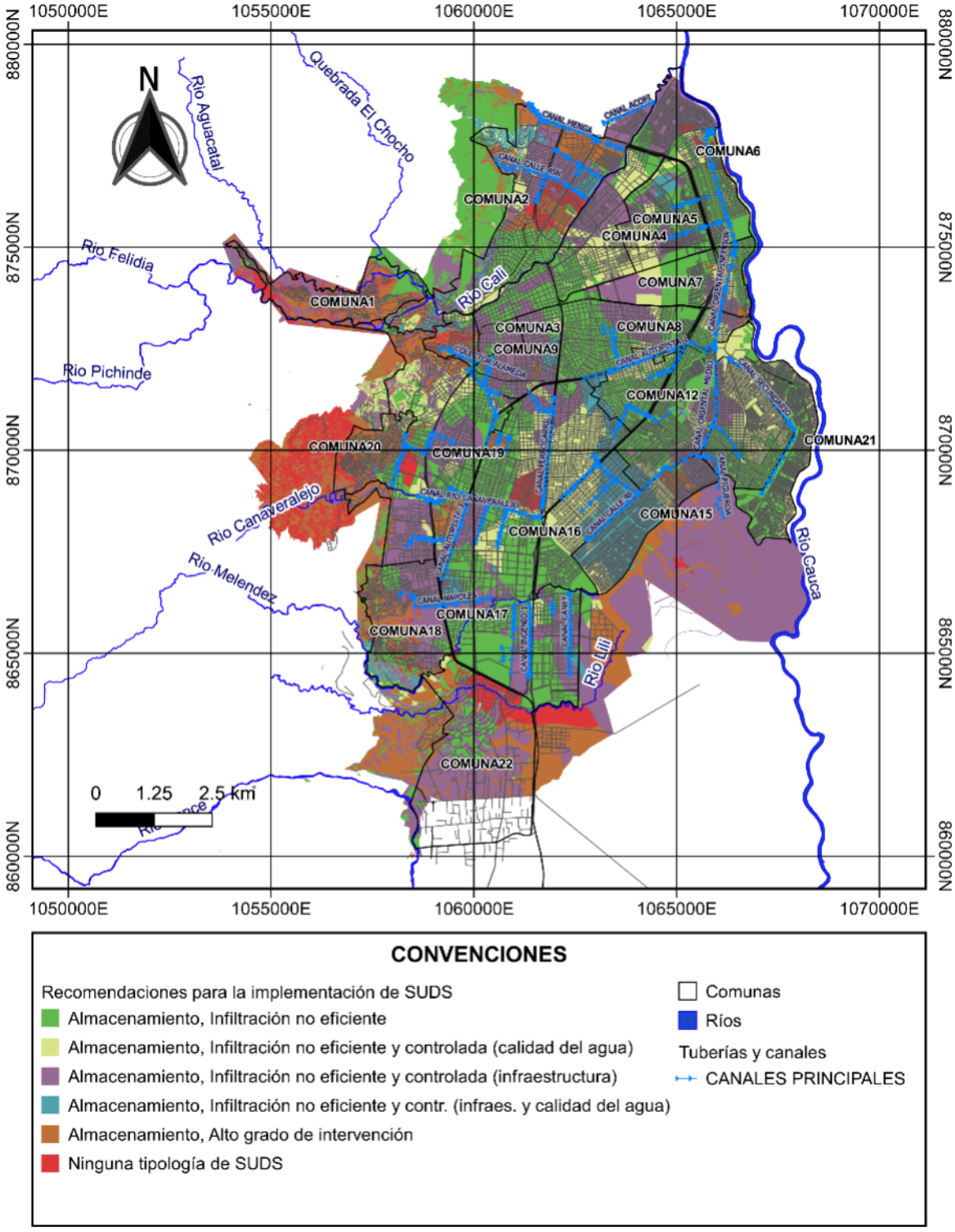


Figura 67. *Mapa 13: Mapa de recomendaciones para la implementación de SUDS.*
Fuente. *Elaborado a partir de EMCALI (2018c); IDESC (2014); IGEI (2020).*

A su vez, se deben analizar las características específicas del sitio (i.e., pendiente, distancia al nivel freático, distancia a cimientos, tasa de infiltración y dimensiones), así como el tipo de espacio. Este análisis depende de la información disponible y la etapa de diseño del edificio o desarrollo urbano. Con este fin se resumen las restricciones en la tabla 20. Los valores presentados en esta tabla constituyen una guía, pero puede haber variaciones en los parámetros mínimos y máximos de acuerdo con requerimientos de diseño particulares para un área y la calidad de la escorrentía. Una baja tasa de infiltración en un área no es una limitante para emplear tipologías de SUDS. Sin embargo, esto determina si será necesario el uso de tuberías perforadas para drenar el agua almacenada. Para las franjas filtrantes y cunetas verdes, está restricción permite evaluar preliminarmente si habrá pérdidas considerables por infiltración. No obstante, para las cunetas verdes en general y las franjas filtrantes empleadas como estructuras de pretratamiento, no es necesario emplear tuberías perforadas si se cumple con los requerimientos de pendiente mínima para conducir de manera eficiente el agua.

Paso 5: dentificación de oportunidades para el desarrollo de estrategias

En este paso se identifica de manera general el tipo de manejo que puede dársele a la escorrentía de acuerdo con las características de los componentes urbanos y, en consecuencia, las oportunidades para implementar estrategias. Con este objetivo se emplea la información sobre las áreas en las que pueden disponerse tipologías de SUDS, las tipologías factibles y la presencia de zonas de recarga del acuífero.

De acuerdo con la tasa de infiltración del área, las zonas de recarga (ver figura 68) constituyen una oportunidad para reducir la escorrentía y favorecer las dinámicas del ciclo hidrológico natural. Sin embargo, para llevar a cabo este proceso se deben considerar las restricciones previamente mencionadas (ver figura 69 y figura 70). A su vez, la localización de las áreas y sus dimensiones determina si los distintos componentes urbanos pueden destinarse para el control en el sitio o el control regional de la escorrentía. Por ejemplo, áreas de espacio abierto localizadas cerca de los puntos de descarga de la cuenca constituyen una oportunidad para recibir y tratar escorrentía proveniente de distintas fuentes.

Este potencial puede ser mayor si el área tiene una tasa alta de infiltración. La tabla 21 se presenta como guía para identificar las escalas de manejo de la escorrentía en relación con los elementos urbanos y las prácticas para el manejo de la escorrentía. Como resultado de este paso, se consolidan las prácticas, tipologías de SUDS y áreas naturales que potencialmente podrán emplearse para establecer un esquema de manejo de la escorrentía. Así como las áreas específicas que serán empleadas para esto.

VERSIÓN BORRADOR

Parámetro		Zanjas filtrantes**	Jardines de biorretención**	Pavimentos permeables**	Alcorques	Franjas filtrantes**	Canales vegetados**	Humedales artificiales	Estanques de detención multifuncionales
Pendiente (%)	Máx.	5[a]	10[a]	5[a]	10[a]	5[b]	10[a]	15[a]	15[a]
	Mín.	-	-	0.5[a]	-	1[b]	1[a]	1[a]	1[a]
Distancia al nivel freático (m)	Mín.	1.5[b] 3[a]	1.8[a]	3[a]	1[a]	1[d]	1.5[a]	1.3[a]	3[a]
Tasa de infiltración (mm/h)*	Mín.	7	7[a]	13[a]	7[a]	13[a]	13[a]	-	7[a]
Distancia a cimientos (m)	Mín.	6[a]	6[a]	6[a]	2[a]	3[f]	4[a]	6[a]	6[a]
Área (m²)	Mín.	1	1	1	2.25	-	60	1000[a]	45[a]
Relación largo ancho	Mín.	-	-	-	-	-	-	3:1[a]	2:1[a]
Ancho (m)	Mín.	0.5[c]	0.6[c]	1	1.5[c]	1.20[c]-[d] Máximo entre largo área de captación o 1.2[a]	2[c]	18[a]	5[a]
Largo (m)	Mín.	-	1.2[c]	1	1.5[c]		30[a]	56[a]	9[a]
Edificio y/o propiedad	Áreas comunes	X	X	X		X			
	Antejardines	X	X			X			
Calles	Andenes	X	X		X	X			
	Bahías			X					
	Ciclorrutas			X					
	Vías			X****					
	Separadores	X	X		X	X	X		
Espacio abierto	Parques	X	X	X		X	X	X	X
	Plazas y plazoletas		X	X	X				

Tabla 20.*Restricciones para la implementación de tipologías de SUDS*
Fuente. *a Jiménez Ariza et al. (2019), b Strecker et al. (2010),c Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes (2017a), d Toronto and Region Conservation Authority & Credit Valley Conservation (2010), e Philadelphia Water Department. (2015), f City of Portland (2016), g Virginia Department of Transportation (2013).*

**Está restricción solo se considera si es posible infiltrar en el área, ** Si corresponde a una estructura recubierta en la que se garantiza que no habrá infiltración la distancia a cimientos puede ser cero (0) f, ***Si corresponde a una estructura de pretratamiento, ****La vía debe ser de bajo tráfico.*

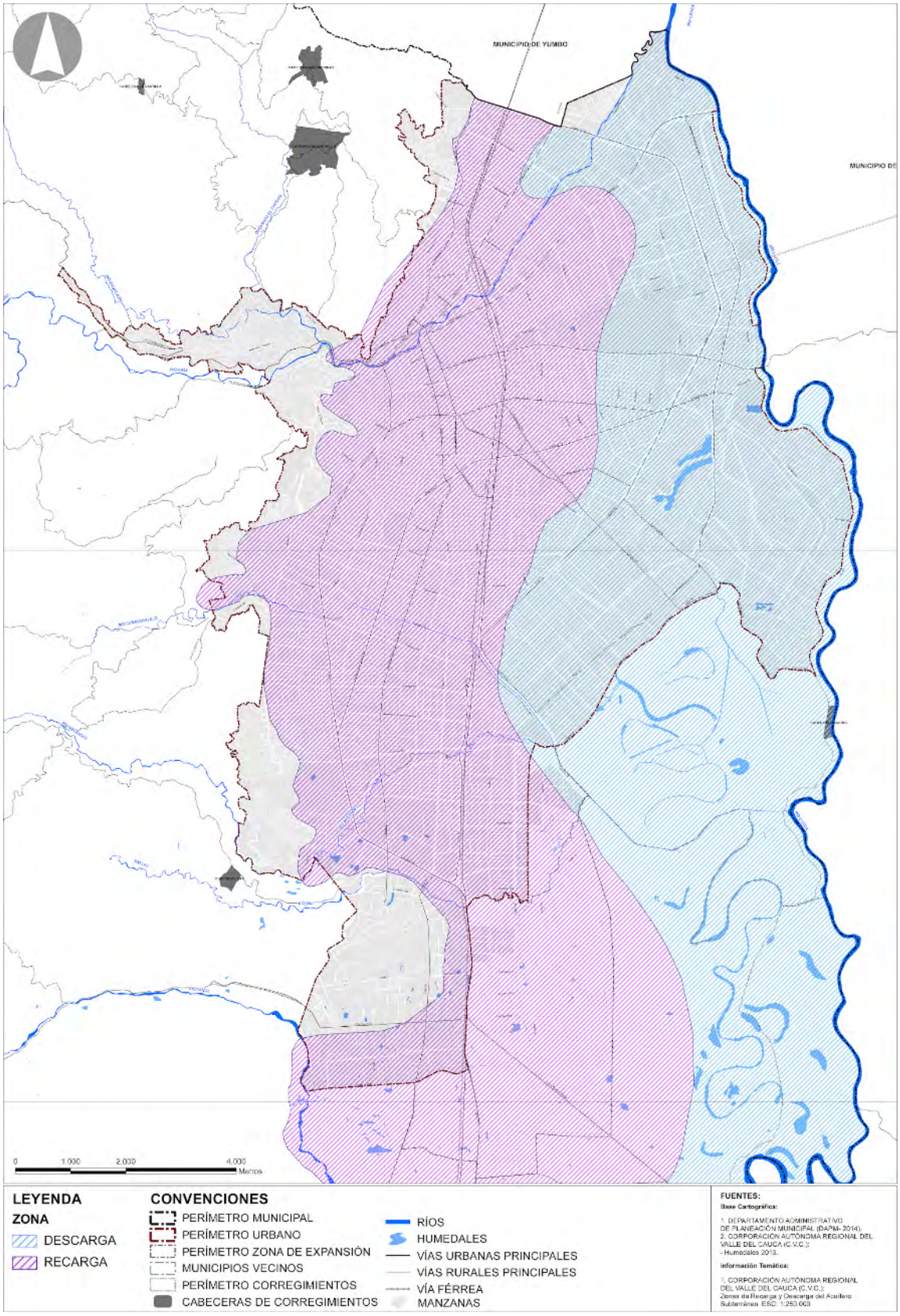


Figura 68. *Mapa 10: Zonas de descarga y recarga del acuífero.*
Fuente. *Departamento Administrativo de Planeación Municipal (2014)*

Práctica	Escala manejo de la escorrentía			
	Control en la fuente	Control en el sitio	Control regional	Transporte
Edificio y/o propiedad				
Materiales de cubierta	C			
Desconexión de zonas impermeables	C, AO, AJ			
Áreas comunes — Diseño urbanístico orientado al agua	AO, AJ			
Calle				
Calles estrechas y/o aprovechamiento de bahías	AN, B, CR, V	AN*		
Calles compartidas	AN, B, CR, V	AN*		
Andenes con tipologías de SUDS	AN	AN*		AN
Separadores con tipologías de SUDS	S	S*		S
Espacio abierto				
Conectar espacios verdes – Corredores	AC, P, PP	AC*, P*, PP*	AC*, P*	AC, P, PP

Tabla 21. *Relación entre prácticas, escalas de manejo de la escorrentía y componentes urbanos*

**Depende de las dimensiones y ubicación. Edificio y/o propiedad: C: Cubiertas, AO: Áreas comunes, AJ: Antejardines. Calle: AN: Andenes, B: Bahías, CR: Ciclorrutas, V: Vías de bajo tráfico, S: Separadores. Espacio abierto: AC: Áreas de conservación, P: Parques, PP: Plazas y plazoletas.*

VERSIÓN BORR

Paso 6: Determinación de trenes de tratamiento

El sexto paso corresponde a la conformación de trenes para materializar las oportunidades identificadas de acuerdo con las características de los elementos urbanos. Para esto se debe tener en cuenta la relación entre el origen y lugar de tratamiento de la escorrentía. Así como la escala de tratamiento de la escorrentía en los espacios disponibles.

En esta medida, en la tabla 22 se presenta una jerarquía para guiar la selección de sitios de tratamiento de acuerdo con el origen de la escorrentía. Esto se desarrolla de manera similar a lo propuesto por Romnée, Evrard, & Trachte (2015). En las columnas se presentan las áreas cuya escorrentía debe ser manejada y en las filas el área para llevar a cabo este proceso. A cada área se le asigna un número en orden ascendente para definir la preferencia de realizar el tratamiento de la escorrentía de acuerdo con cada una de las fuentes. En lo posible se favorece el manejo del agua pluvial cerca de su origen, por lo que el uso del sistema convencional es la última opción en todos los casos. Por ejemplo, en una cubierta plana debe evaluarse el manejo de la escorrentía en la cubierta y, de no ser posible, en áreas adyacentes correspondientes a áreas comunes y antejardines.

Si estas áreas no son viables, la escorrentía podría ser transportada y tratada en estructuras que reciban escorrentía de varias fuentes, localizadas en el espacio público.

Manejo escorrentía	Origen escorrentía											
	Edificio y/o Propiedad				Calle				Espacio abierto			
	Cubierta		Áreas comunes	Antejardines	Andenes	Bahías	Ciclorrutas	Vías	Separadores	Parques	Plazas y plazoletas	Áreas de conservación
	Pendiente	Plana										
Cubierta		1										
Áreas comunes	1	2	1	2								
Antejardines	2	3		1								
Andenes					1	2	2	3				
Bahías						1						
Ciclorrutas							1					
Vías								1*				
Separadores	5	6	4	5	2	3	3	2	1			
Parques	3	4	2	3	3	4	4	4	2	1	2	
Plazas y plazoletas	4	5	3	4	4	5	5	5	3	2	1	
Áreas de conservación										3	3	1
Sistema convencional	6	7	5	6	5	6	6	6	4	4	4	

Tabla 22. *Áreas para el control de la escorrentía*

**Si la vía es de bajo tráfico. Los colores en la tabla indican el área preferida para el manejo de la escorrentía. Verde corresponde a preferencia alta y rojo a preferencia baja.*

VERSIÓN

En la figura 69 se presenta una jerarquía para los procesos de manejo de la escorrentía de acuerdo con la preferencia por técnicas que permitan reducir el volumen y mejorar la calidad del agua. El transporte o vertimiento de escorrentía son opciones cuando no es posible manejarla en el sitio. A su vez, la figura 69 presenta la relación entre las tipologías de SUDS y los procesos jerarquizados, así como las escalas para el manejo de la escorrentía asociadas a estos sistemas de acuerdo con Woods Ballard et al. (2007).

De esta manera, se indica si el proceso es principal, secundario o incidental para cada tipología de SUDS (la información detallada para los procesos de tratamiento se puede consultar la tabla 11).

En este sentido, para emplear la figura 69 es necesario identificar los procesos que son posibles en cada área y priorizar las combinaciones que se encuentran más altas en la jerarquía. Una vez se han establecido los procesos, de acuerdo con las tipologías de SUDS factibles se evalúan las que pueden contribuir a su desarrollo. Por ejemplo, si para un área no es posible realizar aprovechamiento o infiltración se considera el conjunto de procesos ubicados en el cuarto lugar en la jerarquía (i.e., tratamiento, evapotranspiración, interceptación y almacenamiento). En este caso, tipologías de SUDS como los jardines de biorretención, alcorques y humedales artificiales podrían contribuir en distinta medida. Sin embargo, si en el área se va a realizar control en la fuente, los jardines de biorretención y alcorques constituyen

opciones más adecuadas. Por otro lado, si solo es posible conducir y tratar la escorrentía, tipologías e SUDS como las zanjas filtrantes y los canales vegetados tendrán una mayor pertinencia.

Cabe anotar que de acuerdo con el origen de la escorrentía puede haber limitaciones para la ejecución de algunos procesos, por lo cual se resumen restricciones generales en la tabla 23. En caso de incluirse tipologías de SUDS que permitan la infiltración, las prácticas de pretratamiento son fundamentales para evitar el deterioro de la calidad del agua subterránea y extender la vida útil de la estructura. De manera similar, para el aprovechamiento de la escorrentía se debe incorporar pretratamiento. De este modo las tipologías de SUDS para los trenes se seleccionan preliminarmente de acuerdo con la escala o escalas pertinentes de manejo de la escorrentía, el espacio disponible, las tipologías factibles, así como el tratamiento requerido para la escorrentía de acuerdo con su calidad. Como parte de la evaluación de los requerimientos de tratamiento puede consultarse la tabla 1 y la tabla 11 presentadas en secciones previas.



Figura 69. *Jerarquía procesos para el manejo de la escorrentía*

Manejo escorrentía Procesos	Origen escorrentía												
	Edificio y/o Propiedad				Calle					Espacio abierto			
	Cubierta	Áreas comunes	Antejardines	Andenes	Bahías	Ciclorrutas	Vías de tráfico bajo-medio	Vías de alto tráfico	Separadores	Parques	Plazas y plazoletas	Áreas de conservación	Áreas contaminadas (p. ej., sitios industriales o estaciones de servicio)
Aprovechamiento	PR[1]	PR[1]	PR[1]	C[1]	C[1]	C[1]	C[1]	N[1]	C[1]	C[1]	C[1]	X	N[1]
Filtración	X[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	X	X
Otros procesos de tratamiento	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X	*
Infiltración	PR[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	C[1]	PR[1]	PR[1]	PR[1]	X	N[1]
Otros procesos de atenuación	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X	X[1]	X[1]	X[1]	X	X[1]
Almacenamiento	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X	X[1]	X[1]	X[1]	X	X[1]
Transporte	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X[1]	X	X[1]	X[1]	X[1]	X	X
Descarga directa cuerpo de agua	F[1]	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	X	N

Tabla 23. *Restricciones en los procesos de manejo de la escorrentía de acuerdo a su origen.*
Fuente. *1Toronto and Region Conservation Authority & Credit Valley Conservation (2010)*

*X: Sin restricciones. PR: Pretratamiento requerido. C: Puede ser posible si se garantiza una buena calidad del agua. F: Se requiere control del caudal. N: No se recomienda.*Se debe realizar una evaluación de acuerdo con los contaminantes presentes en la escorrentía.*

VERSIÓN

Paso 7: Selección

El séptimo paso corresponde a la selección del tren o trenes más adecuados de acuerdo con los objetivos definidos en el primer paso.

Para esto se debe considerar el desempeño potencial para el control de volúmenes y caudales de escorrentía, la calidad del agua, la provisión de amenidad y/o el soporte de la biodiversidad de acuerdo con matrices cualitativas o, si es posible, mediante la modelación de uno o más criterios.

En esta medida se puede consultar la subsección Ventajas y desventajas, la cual contiene información para apoyar el proceso de selección.

A su vez, se deben analizar aspectos de costos y requerimientos de mantenimiento. Para lo cual se propone emplear matrices cualitativas y costos aproximados, los cuales deben ser actualizados en la medida que se cuente con más información sobre la implementación de estos sistemas a nivel local.

2.5.

Indicadores de beneficios de las tipologías de SUDS

VERSIÓN BORRADOR

Los indicadores constituyen una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en las diferentes etapas de la implementación de SUDS. Permiten evaluar y comparar las estrategias propuestas, así como monitorear el desempeño de las estructuras construidas. A su vez, contribuyen a la comunicación entre actores de distintas áreas relacionadas con el diseño y construcción de SUDS (Thevenot, 2008). Por este motivo son un elemento clave para el manejo sostenible del agua pluvial. Dado el conjunto de beneficios de los SUDS, estos indicadores deben ser capaces de analizar aspectos del control de la escorrentía, así como la posible contribución a la generación de amenidad y biodiversidad. En esta medida, los indicadores de beneficios pueden tener carácter técnico, ambiental o social. A su vez, pueden ser cualitativos o cuantitativos. La evaluación de un indicador cualitativo debe ser metódica e incluir una justificación para cada calificación asignada, de manera que sea posible comparar mediciones realizadas en distintos momentos y sistemas.

En esta sección se presentan posibles indicadores agrupados de acuerdo con el tipo de beneficio (i.e., control de la cantidad, control de la calidad, mejora de la amenidad y contribución a la biodiversidad). A su vez, se señala la etapa en la que pueden tener mayor utilidad. Idealmente, el análisis debe desarrollarse a nivel de sistema para el manejo del agua pluvial, en lugar de centrarse en una única tipología de SUDS sin considerar las interacciones

con las áreas adyacentes. Adicionalmente, su uso puede depender de la escala de análisis y las características del contexto local. Por ejemplo, la evaluación periódica de la diversidad de especies y hábitats puede tener una mayor relevancia si el sistema incluye estructuras cerca de un área de conservación, construidas con el objetivo de contribuir directamente a la biodiversidad.

Por lo tanto, se señalan las escalas en las que su análisis tiene mayor relevancia y se asigna una calificación sobre la prioridad de su uso de acuerdo con las características de la ciudad. Estas calificaciones constituyen una guía preliminar en un contexto en que la implementación de los SUDS se encuentran en etapas iniciales y se ha priorizado el control de la cantidad y calidad de la escorrentía (IGEI, 2020).

Control de la cantidad

La evaluación del control de la cantidad involucra criterios ligados al uso de la escorrentía, la evaluación del impacto sobre los cuerpos de agua y el control de eventos con distinto periodo de retorno. En la tabla 25 se resumen los indicadores de acuerdo con los criterios mencionados. La pertinencia de estos indicadores depende de las características del sitio y los objetivos para el manejo de la escorrentía de la zona. En primer lugar, el uso de escorrentía como recurso es importante para el manejo de la cantidad, ya que permite reducir directamente su volumen. Esto puede corresponder al aprovechamiento del agua lluvia para usos no potables – como la irrigación – o a la infiltración de la escorrentía. Promover la infiltración protege los recursos naturales, puede contribuir a la recarga de acuíferos y al soporte del flujo base de los cuerpos de agua (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Por otro lado, el manejo del riesgo de inundación y la protección de los cuerpos de agua receptores involucra distintas acciones con el objetivo de preservar el ciclo hidrológico natural, de acuerdo con las características y limitaciones del área. Esto incluye manejar la escorrentía mediante sistemas superficiales, así como controlar su volumen y caudal. Lo anterior depende del evento de diseño y el manejo de eventos con diferente periodo de retorno (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Dentro del aspecto de cantidad se enmarca la preservación y protección de los sistemas hídricos naturales del lugar. Estos sistemas tienen un rol hidrológico cuya preservación es importante y, si esto depende de las características de la escorrentía, deberá ser considerado en el diseño de los SUDS. Adicionalmente, el control de la cantidad involucra el drenaje efectivo del sitio, el cual depende de considerar el impacto en la operación del sistema de las restricciones aguas abajo, la tasa de infiltración y el gradiente hidráulico (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

A su vez, es recomendable manejar el riesgo de inundación en el sitio. Esto significa que el sistema para el manejo del agua pluvial debe ser capaz de garantizar un riego de inundación aceptable para el lugar, por lo que debe disponerse un sistema adecuado para el manejo de eventos mayores a los de diseño.

Es importante considerar que las condiciones hidrológicas en un área pueden cambiar, por lo que los sistemas deben ser capaces de adaptarse a estos cambios. Si bien la adaptabilidad es una característica asociada al uso de SUDS, está puede incrementarse si se consideran los posibles cambios en la cuenca desde etapas tempranas de diseño (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

VERSIÓN BORRADOR

Criterio	Indicador	Unidades	Etapa		Pertinencia	
			Selección y Diseño	Operación	Escala	Prioridad uso
Uso de escorrentía como recurso[1]	Proporción de escorrentía aprovechada[1]	%	X	X	E, P, DU	A
	Proporción de escorrentía infiltrada [1]	%	X	X	E, P, DU	A
Soporte en el manejo del riesgo de inundaciones[1]	Evento de diseño[2]	Periodo de retorno	X		E, P, DU	A
	Control de eventos extremos[2]	A/M/B	X		E, P, DU	A
	Reducción del volumen de escorrentía[3]	%	X	X	E, P, DU	A
	Reducción del caudal pico de escorrentía para un periodo de retorno de 100 años[5]	%	X		DU	M
Protección morfología y ecología en cuerpos de agua receptores[1]	Manejo de eventos con bajo periodo de retorno a partir de SUDS[1]	Periodo de retorno	X		E, P, DU	A
	Reducción en el caudal de escorrentía para un periodo de retorno de un año[4]	%	X	X	E, P, DU	A
	Erosión aguas abajo[2]	A/M/B		X	DU	M
Preservación y protección de los sistemas hídricos naturales del lugar[1]	Preservación o mejora a partir del manejo superficial del agua[1]	A/M/B	X	X	E, P, DU	M
Drenaje efectivo del sitio[1]	Drenaje en un tiempo adecuado para no afectar la operación del sistema[1]	A/M/B	X	X	E, P, DU	A
Manejo del riesgo de inundación en el sitio[1]	Periodo de retorno de elementos y rutas para el manejo de eventos mayores a los de diseño[1]	Periodo de retorno	X		E, P, DU	A
Sistema flexible/adaptativo para manejar cambios futuros[1]	Adaptabilidad del sistema durante su vida útil[1,2]	A/M/B	X		E, P, DU	M
	Diseño del borde libre[2]	% o Volumen (m^3)	X		E, P, DU	A

Tabla 24. *. Indicadores para la evaluación de desempeño en relación con el control de la cantidad.*
Fuente. *1CIRIA Norfolk Country Council (2015), 2Revitt, Scholes, & Ellis (2008), 3Merriman, Hunt, & Bass (2016), 4Matzinger et al. (2014).*

A: Alto, M: Medio, B: Bajo, E: Edificio, P: Propiedad, DU: Desarrollo urbano.

Control de la calidad

El manejo de la calidad de la escorrentía se relaciona con la calidad del agua en cuerpos de agua receptores y la capacidad del sistema de adaptarse a cambios en la cuenca. De acuerdo con esto se presentan dos criterios y los indicadores correspondientes en la tabla 25. El soporte del manejo del manejo de la calidad del agua en cuerpos receptores puede evaluarse de manera directa e indirecta considerando los procesos relacionados con el control de la contaminación (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Por lo tanto, se incluyen indicadores relacionados con la disposición de sistemas para el tratamiento y la evaluación del impacto de estos sistemas. La prioridad para la evaluación de la reducción de los contaminantes se estableció de acuerdo con los antecedentes de mediciones de vertimientos en la ciudad y campañas de monitoreo de calidad del agua (Consorcio Ecoing, 2018; IGEI, 2020).

Por otro lado, el sistema debe ser capaz de manejar cambios proyectados debido al cambio climático. Lo que involucra considerar que el incremento de la temperatura y la reducción de las precipitaciones puede afectar algunos tipos de plantas y, por lo tanto, la operación de algunas tipologías de SUDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Criterio	Indicador		Unidades	Etapa		Pertinencia	
				Selección y diseño	Operación	Escala	Prioridad uso
Soporte del manejo de la calidad del agua en cuerpos receptores superficiales y agua subterránea[1]	Proporción de área permeable y área manejada mediante SUDS en relación con el área total construida[1]		%	X		E, P, DU	A
	Proporción del sistema de drenaje pluvial con elementos superficiales y elementos que permiten tratamiento[1]		%	X		E, P, DU	A
	Uso de elementos para la retención de sedimentos[1]		A/M/B	X		E, P, DU	A
	Reducción carga contaminante[2]	Sólidos suspendidos totales[4]	% o A/M/B	X	X	E, P, DU	A
		Materia orgánica	% o A/M/B	X	X	E, P, DU	A
		Nutrientes[4]	% o A/M/B	X	X	E, P, DU	M
		Bacterias[4]	% o A/M/B	X	X	E, P, DU	M
		Aceites y grasas	% o A/M/B	X	X	E, P, DU	M
		Metáles[4]	% o A/M/B	X	X	E, P, DU	B
	Concentración contaminantes cuerpo de agua receptor[2]		mg/l	X	X	DU	A
	Concentración de contaminantes en el agua subterránea[2,3]		mg/l		X	DU	M
Sistema resiliente para manejo de cambios futuros[1]	El sistema puede responder al cambio climático y cambios en la cobertura del suelo[1]		A/M/B	X		DU	M

Tabla 25. *Indicadores para la evaluación de desempeño en relación con el control de la calidad*
Fuente. *1CIRIA Norfolk Country Council (2015), 2Revitt, Scholes, & Ellis (2008), 3Matzinger et al. (2014), 4Boston Water and SewerCommission & Geosyntec Consultants (2013)*

A: Alto, M: Medio, B: Bajo, E: Edificio, P: Propiedad, DU: Desarrollo urbano.

Generación de amenidad

La capacidad de proveer amenidad por parte de los SUDS depende de las tipologías empleadas, así como de la inclusión de elementos para incrementar este potencial desde la etapa de diseño. En la tabla 26 se presentan criterios relacionados con la amenidad junto con indicadores para su evaluación. En primer lugar, la amenidad depende de la articulación con otros usos en las áreas para el manejo de la escorrentía. Esto puede corresponder a infraestructura para la recreación, así como el uso de las tipologías de SUDS para el manejo del tráfico, la mejora de la calidad de calles y estacionamientos, y el soporte de áreas para la agricultura urbana (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

A su vez, el aspecto de un área puede mejorar por la disposición y conservación de cuerpos de agua superficiales (CIRIA Norfolk Country Council, 2015), por lo que esto se incluye como un indicador de mejora del carácter visual. En todo caso, la evaluación de esta mejora en la etapa de operación debe considerar la percepción de la comunidad sobre el tipo de contribución de los sistemas a la apariencia de un lugar.

Generar espacios para la interacción segura con el agua es importante en la provisión de amenidad, esto depende del manejo de los riesgos asociados con un sistema superficial para el manejo de la escorrentía. En consecuencia, el sistema debe contar con controles que limiten el acceso al agua cuando la calidad o cantidad de la escorrentía constituye un riesgo para los usuarios. Esto incluye el uso de barreras verticales que no limiten la visibilidad, y barreras horizontales como puentes y pasarelas. A su vez, se deben generar elementos para reducir la velocidad y profundidad del agua (Echols & Pennypacker, 2008). Por otro lado, una evaluación general del potencial de riesgo puede desarrollarse considerando aspectos como la presencia de áreas con almacenamiento permanente de agua y la contaminación por materia fecal. Así mismo, la percepción de la comunidad es relevante para el análisis de la seguridad en las etapas de diseño y operación (Revitt et al., 2008).

De acuerdo con la tipología de SUDS la accesibilidad puede ser relevante, por lo que en lo posible se deben minimizar las barreras físicas e incrementar la visibilidad de los componentes del sistema (Moore & Hunt, 2012). Esto último aporta a la legibilidad de los procesos para el manejo del agua. Adicionalmente, el uso de SUDS puede contribuir a procesos educativos, lo que involucra el uso de elementos para proveer información y puede evaluarse mediante encuestas a la comunidad (Revitt et al., 2008).

A su vez, el criterio de adaptación a cambios futuros hace parte de la generación de amenidad. Particularmente, algunas tipologías de SUDS favorecen el control de la temperatura lo cual puede evaluarse indirectamente mediante la tasa de evaporación, la relación entre el volumen de vegetación y el área impermeable, y el albedo de las superficies (Matzinger et al., 2014).

VERSIÓN BORRADOR

Criterio		Indicador	Unidades	Etapa		Pertinencia	
				Selección y diseño	Operación	Escala	Prioridad uso
Maximizar uso multifuncional[1]		Inclusión social y uso multifuncional[2] De acuerdo con número, variedad y calidad de usos adicionales para las tipologías de SUDS[1]	A/M/B	X		DU	A
		Infraestructura recreativa[3]	A/M/B	X		DU	M
		Utilización[4]	A/M/B		X	DU	A
Mejorar el carácter visual[1]		Proporción del sistema de drenaje que es diseñado para ser atractivo[1]	%	X		DU	M
		Contribución a mejorar el aspecto del lugar[2]	A/M/B*		X	DU	A
		Proporción de cuerpos de agua superficiales[4]	%	X		DU	M
Generar un sistema superficial seguro[1]		Control de la profundidad y velocidad de la escorrentía almacenada[5]	A/M/B	X		E, P, DU	A
		Control del acceso en áreas con riesgo (calidad y cantidad de escorrentía)[5]	A/M/B	X		E, P, DU	A
		Preocupaciones de la comunidad local[2]	%*	X	X	E, P, DU	A
		Nivel potencial de riesgo (salud y seguridad)[2]	A/M/B		X	E, P, DU	A
Accesibilidad[4]		Accesibilidad al lugar evaluada a partir de la visibilidad y ausencia de barreras físicas[3]	A/M/B	X	X	E, P, DU	M
Maximizar legibilidad[1]		Proporción del sistema de drenaje que es visible[1]	%	X		E, P, DU	M
Soporte de procesos educativos[1]		Incluye elementos para concienciar a la comunidad, involucrar colegios, informar a visitantes, etc.[1,2]	A/M/B	X		E, P, DU	A
		Conocimiento del sistema por parte de la comunidad[2]	%*		X	DU	M
Soporte del desarrollo de adaptabilidad al cambio futuro[1]	General	Proporción del sistema de drenaje que es diseñado para el manejo del cambio climático o cambios en la cobertura del suelo[1]		X		DU	M
		Tasa de evaporación[4]	%		X	E, P, DU	M
	Incremento en confort térmico[5]	Proporción del volumen de la vegetación y el área impermeable conectada[4]	m^3/m^2		X	DU	M
		Albedo superficial[4]	-	X	X	E, P, DU	A

Tabla 26. *Indicadores para la evaluación de desempeño en relación con la generación de amenidad*
Fuente. *1CIRIA Norfolk Country Council (2015), 2Revitt, Scholes, & Ellis (2008), 3Moore & Hunt (2012), 4Matzinger et al. (2014), 5Echols & Pennypacker (2008)*

** Encuesta a usuarios, A: Alto, M: Medio, B: Bajo, E: Edificio, P: Propiedad, DU: Desarrollo urbano.*

Contribución a la biodiversidad

La evaluación de la contribución a la biodiversidad por las tipologías de SUDS debe considerar criterios derivados de la creación y soporte de ecosistemas, contribución a objetivos locales de sostenibilidad, e incremento o preservación de la conectividad.

Estos criterios con los respectivos indicadores se resumen en la tabla 27. El soporte y protección de hábitats naturales y especies locales depende de considerar las especies locales y los tipos de hábitats del área en el diseño. A su vez, es importante identificar hábitats locales que han sido fraccionados o eliminados junto con la factibilidad de conectarlos o recrearlos a partir del sistema de drenaje (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

La contribución directa a los objetivos de sostenibilidad locales puede constituir una guía durante el diseño y una herramienta para la evaluación durante la operación. En este sentido resultan relevantes para la ciudad de Cali programas como el Plan de Silvicultura de la ciudad (Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), 2019) y el modelo para la planificación del sistema de corredores ambientales urbanos (Centro de Investigación en Territorio Ciudad y Espacio (CITCE), 2013).

Así mismo, la creación de hábitats a través de SUDS puede contribuir a incrementar la conectividad de ecosistemas a nivel local o regional. Por lo tanto, la implementación de estos sistemas debe contemplar corredores preexistentes y futuros, y el potencial de contribución del lugar a su soporte.

Esto puede lograrse a partir de distintas escalas de intervención, es decir, puede corresponder a la creación de hábitats complejos o áreas para el tránsito temporal (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). A su vez, los esquemas de SUDS tienen el potencial de establecer ecosistemas diversos, sostenibles y con resiliencia si se crean distintos tipos de hábitats. Esto depende del uso de componentes relacionados con el manejo sostenible del agua y distintos tipos de vegetación (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Para la etapa de operación existen diversos indicadores descritos en la literatura que permiten evaluar la diversidad de especies y de hábitats asociados con las tipologías de SUDS (Matzinger et al., 2014). Sin embargo, debe considerarse que su aplicación puede verse limitada por la capacidad para llevar a cabo los procesos de monitoreo.

VERSIÓN BORRADOR

Criterio		Indicador	Unidades	Etapa		Pertinencia	
				Selección y diseño	Operación	Escala	Prioridad uso
Soporte y protección de hábitats naturales y especies locales[1]		Extensión y calidad del soporte o mejora de hábitats locales mediante SUDS[1]	A/M/B	X	X	DU	M
Contribuye a los objetivos de sostenibilidad locales[1]		Creación de hábitats a partir de SUDS que se encuentran dentro de los objetivos de conservación y biodiversidad locales[1]	A/M/B	X	X	DU	A
Contribuye a la conectividad de hábitats[1]		El esquema de SUDS contribuye a integrar hábitats naturales[1]	A/M/B	X		DU	M
		Promedio en la distancia entre medidas con vegetación y/o cuerpos de agua[4]	m	X		DU	A
		Dispersión de especies entre medidas[4]	%		X	DU	B
Creación de ecosistemas diversos, sostenibles y resilientes[1]	General	Calidad de los hábitats creados o soportados por la implementación de SUDS (considerando rango, diversidad y resiliencia)[1]	A/M/B	X	X	P.DU	M
	Diversidad de especies	Índice de diversidad de Shannon[2,3]	-		X	P.DU	M
		Riqueza[2,3]	-		X	P.DU	M
		Diversidad α y β (flora y fauna)[4]	Número de especies		X	P.DU	M
	Diversidad de hábitats[4]	Diversidad estructural de la vegetación[4]	Número de elementos diferentes		X	DU	M

Tabla 27. *Indicadores para la evaluación de desempeño en relación con la contribución a la biodiversidad*
Fuente. *1CIRIA Norfolk Country Council (2015), 2Merriman, Hunt, & Bass (2016), 3Moore & Hunt (2012), 4Matzinger et al. (2014)*

A: Alto, M: Medio, B: Bajo, E: Edificio, P: Propiedad, DU: Desarrollo urbano.

2.6.

Herramientas para la evaluación del desempeño de los SUDS

VERSIÓN BORRADOR

Como parte del diseño de las tipologías es fundamental modelar el desempeño de estructuras considerando su operación conjunta con otros elementos del sistema de drenaje. A su vez, es importante identificar las necesidades del territorio en cuanto a posibles problemas debido a la cantidad y la calidad de la escorrentía. Esto permite plantear y evaluar esquemas para reducir el impacto de la urbanización y los riesgos en un área determinada (Salarpour, Rahman, & Yusop, 2011). En esta medida existen diferentes escalas de modelación para priorizar áreas y evaluar el impacto de implementar tipologías de SUDS. Como se resume en la tabla 28 la modelación puede llevarse a cabo a nivel regional, estratégico o local. El nivel regional involucra una baja resolución espacial y permite analizar e identificar riesgos en una cuenca. Por otro lado, la escala local requiere información detallada y usualmente es empleada para evaluar el impacto de la implementación de estrategias como las tipologías de SUDS (Charlesworth, 2017).

Escala	Extensión (ha)	Área	Objetivo
Regional	>10000	Cuenca	Modelación del riesgo general de inundación o de una característica relacionada con el ciclo hidrológico
Estratégica	100-10000	Cuenca o subcuenca	Identificación de áreas estratégicas
Local	<100	Sitio y edificio	Modelación de dispositivos y trenes (evaluación de impactos)

Tabla 28. *. Escalas de modelación.*
Fuente. *Adaptado de Charlesworth (2017).*

Por lo general la modelación involucra retos resultantes de la información disponible, la complejidad de los procesos y las simplificaciones necesarias para aproximar los procesos reales. En este sentido, la selección del modelo es determinante ya que no todos los modelos tienen las mismas capacidades o requerimientos de información (Charlesworth, 2017). En la tabla 29 se resumen herramientas comerciales y de acceso libre que pueden representar procesos de control de la cantidad y la calidad por parte de las tipologías de SUDS. La pertinencia de la herramienta depende de la escala de información y la etapa de diseño, ya que para etapas preliminares no siempre se cuenta con la información detallada que es requerida para la implementación de algunos de los modelos.

Adicionalmente, algunos de los programas mencionados no incluyen de manera explícita tipologías de SUDS pero los efectos pueden modelarse de manera implícita de acuerdo con los procesos y componentes incluidos en estos (Kaykhosravi, Khan, & Jadidi, 2018).

En la tabla 30 se presentan las tipologías que pueden ser evaluadas a partir de los distintos modelos de acuerdo con los manuales de usuario, así como con ejemplos reportados en la literatura. Cabe anotar que la modelación de tipologías adicionales a las mencionadas puede ser posible si se adaptan tipologías o procesos incluidos de acuerdo con las características de una tipología particular. Existen distintos ejemplos de aplicación en la modelación de cantidad y cantidad.

En algunos casos estos resultados se emplean para establecer recomendaciones sobre la selección de tipologías de SUDS a partir del desempeño esperado en uno o más aspectos. Sin embargo, la modelación de la reducción de contaminantes no es tan común como la de parámetros hidrológicos. Esta se evalúa con mayor frecuencia a partir de mediciones experimentales (Eckart et al., 2017).

En la tabla 31 se resumen estudios en los que se ha llevado a cabo modelación, junto con los resultados en términos de estimación en la reducción de contaminantes, volumen y caudal de escorrentía. Para los casos en los que existe información disponible sobre el desempeño real de las estrategias, este se indica entre paréntesis. Particularmente, el modelo SWMM ha sido empleado para selección multicriterio a partir de la simulación de desempeño en cuanto a cantidad y calidad, y la estimación independiente de costos (Gao, Li, Li, Xia, & Lv, 2020; Luan et al., 2019). Adicionalmente, las características de este modelo han permitido el desarrollo de procesos de optimización mediante su acoplamiento con otros programas (Jia, Lu, Yu, & Chen, 2012; Liang, You, & Lee, 2019).

Uno de los pasos principales en la aplicación de algunos de estos modelos corresponde a su calibración. Por ejemplo, en el estudio de Guerrero, Alam, Mahmoud, Jones, & Ernest (2020) la implementación de WinSlamm involucró el ajuste del coeficiente de escorrentía. Esto permitió que la representación de la reducción del volumen de las tres tipologías de SUDS consideradas fuera más cercana a los valores observados para distintas profundidades de lluvia (Guerrero et al., 2020).

A su vez, para el desarrollo de las modelaciones es fundamental identificar las fuentes de incertidumbre, ya que distintos parámetros pueden afectar la escorrentía y el desempeño de las tipologías de SUDS. Por ejemplo, las condiciones climáticas, el tipo y estado del suelo, la tasa de infiltración, la litología subsuperficial, la topografía y las características de los canales pueden ser determinantes en los valores obtenidos.

Por esta razón es importante realizar validaciones en campo para reducir fuentes de incertidumbre y obtener resultados exactos (Charlesworth, 2017).

VERSIÓN BORRADOR

Modelo	Objetivo principal	Escala	Acceso libre	Ventajas	Desventajas	Posibles usos
MicroDrainage (Innovyse, 2020)	Modelo hidráulico para el diseño de redes de drenaje[2]	Edificio Sitio	No	Considera aspectos topográficos y la presencia de vivienda para modelar la escorrentía[1] Los datos se ingresan de manera gráfica y es posible ligarlo con AutoCAD Civil 3D[1,2] Permite modelar riesgos de inundación considerando distintos procesos y controles hidráulicos[1,2]	Puede subestimar el desempeño de las cubiertas verdes para eventos con una duración mayor a 2 horas[3]	Diseño y comprobación del desempeño de los SUDS[2]
MUSIC MUSICX (eWater, 2020)	Planeación y diseño conceptual de WSUD[4]	Edificio Sitio Subcuenca Cuenca	No	Combina costo de vida con herramientas de modelación del desempeño en cuanto a manejo de la cantidad y de calidad[1] Permite estimar el potencial e impacto aguas abajo del aprovechamiento de agua lluvia[5]	Posible sobreestimación o subestimación de la capacidad de tratamiento de las tipologías[1,5]	Dimensionamiento Planeación uso del suelo Diseño preliminar a nivel de sitio, subcuenca y cuenca[7]
MIKE+ (DHI, 2020)	Planeación y optimización de sistemas para el manejo del agua urbana[15]	Sitio Subcuenca Cuenca	No	Puede emplearse información de precipitación con distinta resolución temporal[17] Incluye varios métodos para modelación hidráulica[17]	No integra procesos hidrológicos asociados con la presencia de plantas (simplificación de procesos)[17]	Diseño conceptual, preliminar y detallado[17]
SWMM 5.1 (United States Environmental Protection Agency, 2015)	Simulación hidrológica e hidráulica[4]	Sitio Subcuenca Cuenca	Si	Permite modelar mejoras potenciales en cantidad y calidad[1] Uso extendido, existen varios ejemplos de aplicación[1] Pueden evaluarse eventos de distinta duración y resolución[8] Permite obtener resultados con buena exactitud de acuerdo con la calibración y validación del modelo[9]	Se ha cuestionado la exactitud en la estimación de la reducción de escorrentía (p.ej., una aplicación de SWMM5 reportó un margen de error de hasta 13.3%).[10] Es un programa complejo cuyo puede está limitado a profesionales, lo que limita su implementación en etapas tempranas de la planeación[7]	Investigación Dimensionamiento Planeación uso del suelo Diseño preliminar a nivel de cuenca y subcuenca Diseño preliminar a nivel de sitio[7]
WinSLAMM (Burger, 2013)	Evaluar el volumen de escorrentía y la carga contaminante, así como el rol de las tipologías de SUDS en la mejora de la calidad de la escorrentía[9,11]	Sitio Subcuenca Cuenca	No	Pueden evaluarse eventos de distinta duración y resolución[12] Se consideran efectos de compactación del suelo[12] Es posible evaluar costos del ciclo de vida y requisitos de dimensionamiento[9,12] Permite identificar áreas de drenaje críticas de acuerdo con el uso de la tierra[12] Reduce la incertidumbre a través del uso de ecuaciones de Monte Carlo[9,12]	Se ha cuestionado su idoneidad para el desarrollo de análisis de sensibilidad[13] Requiere parámetros detallados por lo que no se recomienda para fases preliminares de diseño[11]	Etapa de diseño detallado[11]
Green Infrastructure Flexible Model	Modelación hidrológica y de procesos de tratamiento	Sitio	Si	Modelo flexible que permite representar distintas tipologías a partir de bloques de componentes, es posible modelar estructuras que incluyan drenajes y múltiples capas de suelo[14]	Es un modelo del 2016 que no se ha usado en muchos estudios[11] No tiene tipologías predefinidas[11]	Diseño y optimización (etapa de investigación)[11]

Tabla 29. *Herramientas para la modelación del desempeño de las tipologías de SUDS*
Fuente. *1Charlesworth (2017), 2Innovyse (2020), 3Lashford, Charlesworth, Warwick, & Blackett (2020), 4Tiange (2020), 5eWater (2020), 6Imteaz, Ahsan, Rahman, & Mekanik (2013), 7Elliott & Trowsdale (2007), 8United States Environmental Protection Agency (2015), 9Jayasooriya & Ng (2014), 10Lee, Hyun, Choi, Yoon, & Geronimo (2012), 11Kaykhosravi et al. (2018), 12Burger (2013), 13Alam, Mahmoud, Jones, Bezares-Cruz, & Guerrero (2019), 14Massoudieh & Aflaki (2017), 15DHI (2020), *Información para versiones anteriores*

(GIF-Mod) (Massoudieh et al., 2017)	dentro de tipologías de SUDS[11]			Incluye un módulo de modelación inversa que puede ser usado para diseño o calibración[11] Permite usar datos de lluvia con distinta resolución temporal[11]	No permite modelar superficies con pendiente en las tipologías de SUDS[11] No se recomienda para redes complejas y análisis de onda dinámica[11]	Diseño conceptual[11]
HEC-HMS (US Army Corps of Engineers, 2020)	Simular procesos hidrológicos de cuencas hidrográficas dendríticas[11]	Sitio Subcuenca Cuenca	Si	Se puede considerar escorrentía generada aguas arriba[11] Permite modelar superficies con pendiente[11]	No es posible modelar tuberías subterráneas en tipologías SUDS[11] No se ha empleado de manera extendida para modelación de tipologías de SUDS y no tiene tipologías de SUDS predefinidas[11] Proceso simplificado de infiltración cuando se modela agua detenida en un área[11] Limitaciones para modelar estructuras complejas debido a que no se pueden incorporar elementos hidráulicos como compuertas y bombas[11]	
SWAT (Neitsch, Arnold, Kiniry, & Williams, 2011)	Cuantificar y predecir el impacto de prácticas del manejo del suelo en cuencas grandes[11]	Sitio Subcuenca Cuenca	Si	Permite usar datos de lluvia con distinta resolución temporal[11] Considera una gran cantidad de procesos hidrológicos, incluyendo el efecto de la vegetación[11] Es un modelo popularmente usado debido a sus capacidades[11] Permite modelar aspectos de calidad[11] Permite modelar múltiples capas de suelo[11] Es posible usar datos de lluvia con distinta resolución temporal[11]	No es posible modelar tuberías subterráneas en tipologías SUDS[11] No tiene tipologías predefinidas[11] Hay limitaciones en la modelación de pondajes húmedos y humedales artificiales ya que no pueden recibir agua originada en otras subcuencas[11]	Diseño conceptual[11] Diseño y análisis preliminar y detallado[11]
RECARGA (Severson & Atchison, 2004)	Evaluación del desempeño de sistemas de bioretención y cuencas de infiltración a través de modelación hidrológica (Severson & Atchison, 2004)	Sitio	Si	Puede representar la humedad del suelo y la evapotranspiración durante un evento de precipitación[3]	No permite modelar superficies con pendiente en las tipologías de SUDS[11] Requiere series de precipitación horaria[11] Existe un número limitado de capas de suelo para las tipologías de SUDS[11] No lleva a cabo modelación hidráulica y no es posible modelar largos periodos de tiempo[11]	Dimensionar practicas individuales[3] Etapa de investigación[11]
HYDRUS 1D (PC-Progress, 2019)	Análisis del flujo de agua, y transporte de calor y solutos en medios porosos[11]	Sitio	Si	Considera la toma de agua por las plantas[11] Permite modelación inversa lo que puede ser empleado para calibrar o diseñar[11] Es flexible para la modelación de tuberías de drenaje y múltiples capas de suelo[11] Es posible usar datos de lluvia con distinta resolución temporal[11]	No permite considerar la escorrentía de un área aguas arriba de la cuenca modelada[11] No tiene tipologías predefinidas[11] No permite modelar tipologías de SUDS con pendiente[11]	Diseño conceptual[11] Diseño o análisis preliminar y detallado[11]

Tabla 29. *Herramientas para la modelación del desempeño de las tipologías de SUDS*
Fuente. *1Charlesworth (2017), 2Innovyse (2020), 3Lashford, Charlesworth, Warwick, & Blackett (2020), 4Tiange (2020), 5eWater (2020), 6Imteaz, Ahsan, Rahman, & Mekanik (2013), 7Elliott & Trowsdale (2007), 8United States Environmental Protection Agency (2015), 9Jayasooriya & Ng (2014), 10Lee, Hyun, Choi, Yoon, & Geronimo (2012), 11Kaykhosravi et al. (2018), 12Burger (2013), 13Alam, Mahmoud, Jones, Bezares-Cruz, & Guerrero (2019), 14Massoudieh & Aflaki (2017), 15DHI (2020), *Información para versiones anteriores*

Tipología de SUDS		Micro-Drainage (Innovyze, 2020)	MUSIC MUSICX (eWater,	MIKE+ (DHI, 2020)	SWMM 5.1. (United States Environmental Protection	Win-SLAMM (Burger, 2013)	GIF-Mod* (xGreen infrastructure flexible	HEC-HMS	SWAT	RECAR-GA (Severson & Atchison,	HYDRUS 1D
Sistemas de infiltración	Pozos de infiltración	X		X			X				
	Cuencas de infiltración		X			X	X			X	
	Zanjas de infiltración	X		X	X	X	X	X[b]	X[c]		X[c]
Jardines de bioretención			X	X	X	X	X	X[c]	X[c]	X	X[c]
Sistemas filtrantes (no vegetados)			X								
Trampas de sedimentos			X								
Franjas filtrantes			X			X					
Cunetas vegetadas			X		X	X	X	X[c]	X[c]		
Almacenamiento en celdas subterráneas		X									
Estacionamientos filtrantes/ Pavimentos permeables		X		X	X	X	X				
Almacenamiento en celdas subterráneas		X									
Estanques de detención			X								
Pondajes húmedos		X	X			X					
Humedales artificiales			X								
Cubiertas verdes		X		X	X		X	X[c]	X[c]		X[c]
Tanques/ Aprovechamiento agua pluvial		X	X	X	X	X	X	X[c]	X[c]		
Desconexión de zonas impermeables					X	X					
Equipos hidrodinámicos						X					
Limpieza de calles						X					
Sedimentador						X					
Nodo genéricos			X								

Tabla 30. *Prácticas y tipologías de SUDS incluidas en herramientas disponibles para la modelación de SUDS.*
Fuente. *Khaniya, Wanniarachchi, & Rathnayake, (2017), Kaykhosravi et al. (2018).*

a Se pueden construir varias tipologías a partir de bloques, b Implementado en un estudio (Khaniya, Wanniarachchi, & Rathnayake, 2017), c De acuerdo con Kaykhosravi et al. (2018).

Modelo	Fuente	Tipo de estudio	Área estudio	Estrategia	Resultados					
					Reducción de contaminantes: Modelo (experimental)			Reducción cantidad escorrentía		
					SST	NT	FT	Volumen	Caudal	Caudal pico
MUSIC	Imteaz et al. (2013)	Evaluación del modelo (MUSIC)	Melbourne. Australia	Jardín de biorretención	91.6% (90%)[a]	87.0% (-162%)[a]	82.6% (-12%)[a]		59.5% (75%)	
			Brisbane. Australia	Jardín de biorretención	91.9% (89%)	85.2% (83%)	76.2% (19%)		30.4% (16%)	
			Brisbane. Australia	Canal vegetado	52.4% (83.1%)[a]	44.0% (63.3%)[a]	35.8% (53.1%)[a]			
			Suecia	Canal vegetado	38.0% (-20%)	26.9% (N/A)	35.0% (N/A)			
			Auckland. Nueva Zelanda	Pavimento permeable	99.8% (85.9%)[a]	99.5% (N/A)	99.7% (N/A)		92.9% (80.5%)	
			Escocia	Pavimento permeable Reducir área impermeable. tanques para aprovechar agua lluvia. desconexión zonas impermeables. jardines de biorretención. mayor almacenamiento	100% (99.0%)	100% (82.7%)	100% (52.3%)		100% (82.2%)	
SWMM Acoplado con modelo de soporte a la toma de decisiones	Jia, Lu, Yu, & Chen (2012)	Optimización/ Recomendaciones	Villa Olímpica Beijing. China					27%		21%
SWMM Acoplado con algoritmo genético	Liang, You, & Lee (2019)	Optimización	Campus de la Universidad Nacional de Taiwán en la ciudad de Taipéi	Jardines de biorretención Pavimentos permeables						Escenario 1: Tr 2 años: 41.3%-9.8% Tr 100 años: 44.8%-4.5% Escenario 2 Tr 2 años: 55.2%-21.1% Tr 100 años: 57.6%-11.3%

Tabla 31. *. Modelación del control de la cantidad y la calidad de la escorrentía.*

a Se presentan los valores promedio de los resultados de monitoreo. SST: Sólidos suspendidos totales. TN: Nitrógeno Total, FT: Fósforo total, Tr: Periodo de retorno.

Zahmatkesh. Burian. Karamouz. & Asce (2015)	Estudio de alternativas en escenarios de cambio climático	Cuenca del río Bronx. EEUU	Tanques para aprovechar agua lluvia. pavimento permeable. jardines de biorretención			Tr 2 años: 28% Tr 50 años: 14%	8% - 13%
Samouei & Özger (2020)	Estimación de desempeño/ Evaluación de alternativas	Campus de la Universidad Técnica de Estambul. Turquía	Cubiertas verdes. pavimentos permeables y jardines de biorretención			Tr 2 años: 16.97% Tr 50 años: 9.32%	Tr 2 años: 24.73% Tr 50 años: 11.97%
SWMM			Estanque de detención. pavimento poroso	47.8%			31.46%
Luan et al. (2019)	Evaluación de alternativas	Zhuhai. China	Estanque de detención. jardín de biorretención. canal vegetado. pavimento permeable	53.0%			30.47%
Gao. Li. Li. Xia. & Lv (2020)	Evaluación de alternativas	Shaanxi. China	Estanque de detención Jardín de biorretención. cubierta verde. pavimento permeable	31.6%	77.82%		31.99%
							74.27%
Guerrero. Alam. Mahmoud. Jones. & Ernest (2020)	Evaluación de alternativas	Región del Valle de Río Grand en Texas. Estados Unidos	Humedal artificial			78%-100%	
			Pavimento permeable			78%-92%	
			Jardín de biorretención			83%-100%	
			Canal vegetado			79%-83%	
WinSlamm y algoritmo de soporte a la toma de decisiones							

Tabla 31. *. Modelación del control de la cantidad y la calidad de la escorrentía.*

a Se presentan los valores promedio de los resultados de monitoreo. SST: Sólidos suspendidos totales. TN: Nitrógeno Total. FT: Fósforo total. Tr: Periodo de retorno.

VERSIÓN BORRADOR

VERSIÓN BORRADOR

TOMO II

ESCALA EDIFICATORIA

Capítulo 1. *Calidad del ambiente interior.*
Capítulo 2. *Materialidad sustentable.*
Capítulo 3. *Eficiencia y ahorro de agua.*
Capítulo 4. *Eficiencia y ahorro de energía.*
Capítulo 5. *Infraestructura verde.*
Capítulo 6. *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) – Edificatorio.*

VERSIÓN BORRADOR

Calidad del ambiente interior

TOMO II | Capítulo 1

ÍNDICE DE CONTENIDO

TOMO II | Capítulo 1

		Pág.
A.	**CONTEXTO.**	189
	- Área de influencia y clima.	
B.	**CONFORT TÉRMICO.**	193
	- Definición. - Rangos de confort térmico en ambientes interiores.	
C.	**CONFORT VISUAL.**	196
	- Definición. - Rangos de Confort visual en ambientes interiores.	
1.1.	**ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA EL CONFORT TÉRMICO.**	199
	CE1. ORIENTACIÓN Y FORMA. CE1.1. Orientación y forma del edificio.	199
	CE2. PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS. CE2.1. Protección solar en vanos orientados este y oeste. CE2.2. Protección solar en vanos orientados norte y sur.	200
	CE3. APERTURAS Y VANOS. CE3.1. Relación ventana-pared entre 30% y 40%. CE3.2. Geometría de ventanas tipo cinta. CE3.3. Ventilación cruzada mediante ventanas operables en caras opuestas o adyacentes de los espacios.	202

		Pág.
	CE4. CARACTERÍSTICAS DE LA ENVOLVENTE. CE4.1. Envolvente vertical con un valor U de 1.21 W/m²°k o inferior. CE4.2. Envolvente vertical de colores claros con un valor de reflectividad igual o superior al 0,6. CE4.3. Cubierta con valor U igual o inferior a 0.5 w/m²°k.	**205**
	CE5. CONFORT LUMÍNICO EN EDIFICACIONES. CE5.1. Control del deslumbramiento. CE5.2. Coeficiente de luz diurna adecuado con la actividad a desempeñar en el espacio. CE5.3. Uniformidad lumínica. CE5.4. Acabado de los interiores con una reflectividad igual o inferior a 0,6. CE5.5. Profundidad, altura y ventana en la edificación.	**208**
1.2. **1.3.** **1.4.**	**IMPORTANCIA.** **OBJETIVOS.** **ASESORES.**	**213** **214** **214**
1.5.	**METODOLOGÍA.**	**215**
	- Análisis de sensibilidad de estrategias bioclimáticas para confort térmico. - Flujo de trabajo y software. - Líneas base.	
	Obtención y Análisis de datos.	**222**
	- Información climática. - Análisis de sensibilidad.	
1.6.	**CONDICIONES SIMULADAS.**	**223**
	- Orientación y forma del edificio. - Protección solar en vanos. - Relación ventana pared. - Geometría de las ventanas. - Ventilación cruzada. - Valor U de la envolvente vertical. - Valor U de la cubierta. - Reflectividad de la envolvente vertical.	
1.7.	**RESULTADOS.**	**230**
	- Vivienda VIS. - Edificio Oficinas. - Edificio Comercial. - Hospital. - Hotel. - Discusión.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de confort térmico para los climas cálido húmedo y cálido seco de Santiago de Cali.
Tabla 2. Valores medios de CLD para la realización de tareas en función de su dificultad visual en locales de trabajo.
Tabla 3. Uniformidades y relación entre luminancias de áreas circundantes, inmediatas al área de trabajo.
Tabla 4. Datos de entrada para el bcl ADD WIND AND STACK OPEN AREA.
Tabla 5. Características de la envolvente vertical aplicadas a la simulación.
Tabla 6. Características de la envolvente horizontal aplicadas a la simulación.
Tabla 7. Reflectividad de los materiales simulados en envolvente vertical y horizontal, en donde TS es temperatura de superficie e IRS es el Índice de Reflectancia Solar.
Tabla 8. Resultados de las estrategias en el modelo VIS.
Tabla 9. Resultados de las estrategias en el modelo Edificio de Oficinas.
Tabla 10. Resultados de las estrategias en el modelo Edificio Comercial.
Tabla 11. Resultados de las estrategias en el modelo Edificio Hospital.
Tabla 12. Resultados de las estrategias en el modelo Edificio Hotel.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación climática en el área de influencia del Manual de Construcción Sostenible.
Figura 2. Diagrama psicométrico de Givoni para el clima cálido semiárido.
Figura 3. Diagrama psicométrico de Givoni para el clima cálido semihúmedo.
Figura 4. Grafica de evaluación de confort térmico mediante el modelo adaptativo según la temperatura exterior media predominante.
Figura 5. Simulación de iluminación natural en un apartamento típico en Santiago de Cali.
Figura 6. Diferencias vistas según el diseño y el tipo de fachada en donde se ve la influencia de las ventanas en la calidad visual de los aspectos interiores.
Figura 7. Simulación de radiación sobre un edificio en W/m2 bajo tres condiciones de orientación para el mes de junio a las 3:00 pm; 1) fachadas más largas hacia el norte y el sur; 2) fachadas más largas hacia el este y el oeste; 3) posición del edificio a 45 grados hacia el oeste.
Figura 8. Elementos de protección solar en vanos y circulaciones incluidos en la arquitectura. Biblioteca Mario Carvajal, arquitecto Bruno Violi, Universidad del Valle – Meléndez.
Figura 9. Esquema tridimensional de proporción de ventanas en fachada exterior en relación con la visibilidad y la iluminación natural.
Figura 10. A la izquierda: vista interior de la tipología de ventanas en “cinta”. A la derecha: diversas posiciones de la misma ventana con igual RVP.

Figura 11. Diagrama de ventilación cruzada.
Figura 12. Diferentes tipos de ventanas y porcentajes de paso del aire.
Figura 13. Materiales de la envolvente, espesores y relación entre su transmitancia y su resistencia térmica.
Figura 14. Reflectividad en dos casos – muro común usado en cerramiento, inferior – muro con acabado de alta reflectancia.
Figura 15. Simulación del coeficiente de luz diurna en un espacio, sin protección solar (parte superior) y con protección solar (parte inferior).
Figura 16. Obtención del coeficiente de luz diurna, determinada en el mismo instante en un cielo uniformemente nublado y sin obstrucciones.
Figura 17. Diferencia de reflectividad en las superficies de una misma habitación.
Figura 18. La reflectividad y su aplicación en diversas situaciones.
Figura 19. Luz natural en un espacio iluminado por una sola fachada, relación entre la altura de la ventana y penetración de la luz natural en un espacio.
Figura 20. Diagrama de flujo de trabajo para modelación y simulación con Openstudio.
Figura 21. Especificación de la línea base de la Vivienda VIS.
Figura 22. Especificación de la línea base del Edificio de Oficinas.
Figura 23. Especificación de la línea base del Edificio de Comercio.
Figura 24. Especificación de la línea base del Edificio Hotel.
Figura 25. Especificación de la línea base del Edificio Hospital.
Figura 26. Flujo de trabajo para la obtención de las respectivas líneas base de la temperatura operativa y posterior análisis de sensibilidad.
Figura 27. Cambio de orientación del edificio y afectación solar, con la aplicación de Openstudio.
Figura 28. Implementación geometríca de la protección solar en vanos versus la línea base.
Figura 29. Cambios en la fachada de acuerdo a cada relación ventana pared (RVP).
Figura 30. Cambio en la forma de las ventanas aplicadas al modelo.
Figura 31. Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas versus la línea base del modelo VIS.
Figura 32. Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas versus la línea base del modelo Edificio de Oficinas.
Figura 33. Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas versus la línea base del modelo Edificio Comercial.
Figura 34. Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas versus la línea base del modelo Edificio Hospital.
Figura 35. Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas versus la línea base del modelo Edificio Hotel.
Figura 36. Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas en diferentes tipologías.

VERSIÓN BORRADOR

A.

Contexto

El presente capítulo está dedicado a la adaptación de las edificaciones al clima por medio de estrategias bioclimáticas, lo cual influye positivamente en la habitabilidad de los ambientes interiores. Esta habitabilidad está determinada por las condiciones higrotérmicas, lumínicas, visuales, acústicas, de calidad del aire, entre otras, brindadas por el diseño de las edificaciones.

La adaptación climática en la arquitectura es un tema tratado desde la antigüedad, Vitrubio (80 – 70 a. C.) manifestó desde entonces que su estilo edificatorio no era el mismo para España, Pontus o Roma debido a sus diferentes características climáticas. Mucho después, Olgyay (1963) sostuvo que para el proceso de diseño y construcción de una edificación estable respecto al clima se requiere de la integración de conocimientos en climatología, biología, tecnología y arquitectura.

Dicho postulado sentó las bases del concepto de arquitectura bioclimática, la cual es siempre considerada en ámbitos de construcción sostenible porque aprovecha los medios pasivos como el sol, la vegetación, los vientos o las propiedades físicas de los materiales para mantener unas condiciones de confort óptimas para el desarrollo de las actividades humanas, disminuyendo los impactos ambientales y reduciendo los consumos de energía durante su funcionamiento.

El objetivo del capítulo es presentar aquellas estrategias pasivas que mejoran las condiciones de habitabilidad y que pueden ser vinculadas en el ejercicio del diseño arquitectónico y la construcción, lo cual se verá representado en el ahorro de recursos naturales y económicos en el funcionamiento de las edificaciones de la ciudad de Santiago de Cali.

El capítulo se encuentra dividido en dos partes, la primera donde se contextualizan las características climáticas y el área de influencia de este manual; se tratan los conceptos de confort térmico y visual con sus antecedentes, normativas, rangos ajustados al clima de Cali y descripción de las estrategias bioclimáticas. También se explica la importancia, objetivos y profesionales capacitados para aplicar estos temas en los procesos edificatorios. Por último, esta primera parte culmina con la metodología utilizada para determinar la sensibilidad de la implementación de cada estrategia bioclimática en las edificaciones. Finalmente, el capítulo culmina con la presentación, análisis y discusión de los resultados obtenidos en las pruebas de sensibilidad.

VERSIÓN BORRADOR

Área de influencia y clima

El área de influencia que abarca el presente manual incluye las zonas: suelo urbano, area de expansión y suelo suburbano sujeto a POZ. Dejando como subyacente esta área, como se muestra en el mapa de la figura 1.1 y sobreponiendo la micro zonificación climática del capitulo de urbanismo sostenible, se distinguen cuatro climas dentro de esta área de influencia: Cálido semihúmedo, Cálido semiárido, Templado semihúmedo y Templado semiárido.

De acuerdo con el Estudio para la Micro Zonificación Climática para el Municipio de Santiago de Cali realizado por el CIAT, DAGMA, CVC y el Municipio (2015), el clima Cálido semi-húmedo, se localiza entre los 0 y 100 msnm, en la zona plana del suroriente. Esta zona climática presenta una precipitación promedio de 1.427 a 2.184 mm al año, su temperatura promedio es de 25°C y abarca aproximadamente el 30,6% del territorio de influencia.

El clima cálido semiárido, se localiza entre los 0 y 100 msnm en la mayoría de la zona urbana plana del centro y oriente del distrito. Se caracteriza por presentar precipitaciones promedio de 1.290 mm al año, su temperatura promedio es de 25°C y representa aproximadamente el 52,4% del territorio de influencia.

El clima Templado semihúmedo se localiza entre los 1000 y 2000 msnm y comprende corregimientos desde el sur como Pance hasta el norte como La Elvira. Las precipitaciones van desde los 1.164 a los 2.319 mm al año, la temperatura promedio es de 23.5°C y cobija aproximadamente el 13,61% del territorio de influencia.

El clima templado semiárido se localiza hacia la zona norte y la parte occidental de la zona urbana del distrito. En esta zona climática las precipitaciones promedio son de 1295 mm al año, con temperaturas promedio de 23,5°C y representa el 3,39% del territorio de influencia.

Como puede notarse, aproximadamente el 83% del área de influencia se encuentra en los climas cálidos con temperaturas promedio de 24°C. A diferencia de la precipitación y muy levemente la humedad relativa, las características climáticas de los dos climas cálidos son muy similares, incluso poseen igual promedio de temperatura del aire.

De otro lado, tan solo el 17% se encuentra en clima templado con temperaturas promedio de 23°C que no difieren demasiado de las características climáticas de los climas cálidos.

Por las razones expuestas anteriormente, el presente capítulo solamente cubre dos de los climas presentados en el área de influencia: Cálido semihúmedo y Cálido semiárido. Sin embargo, las estrategias aquí recomendadas también son aplicables a los dos climas templados debido a la poca amplitud en las diferencias climáticas.

VERSIÓN BORRADOR

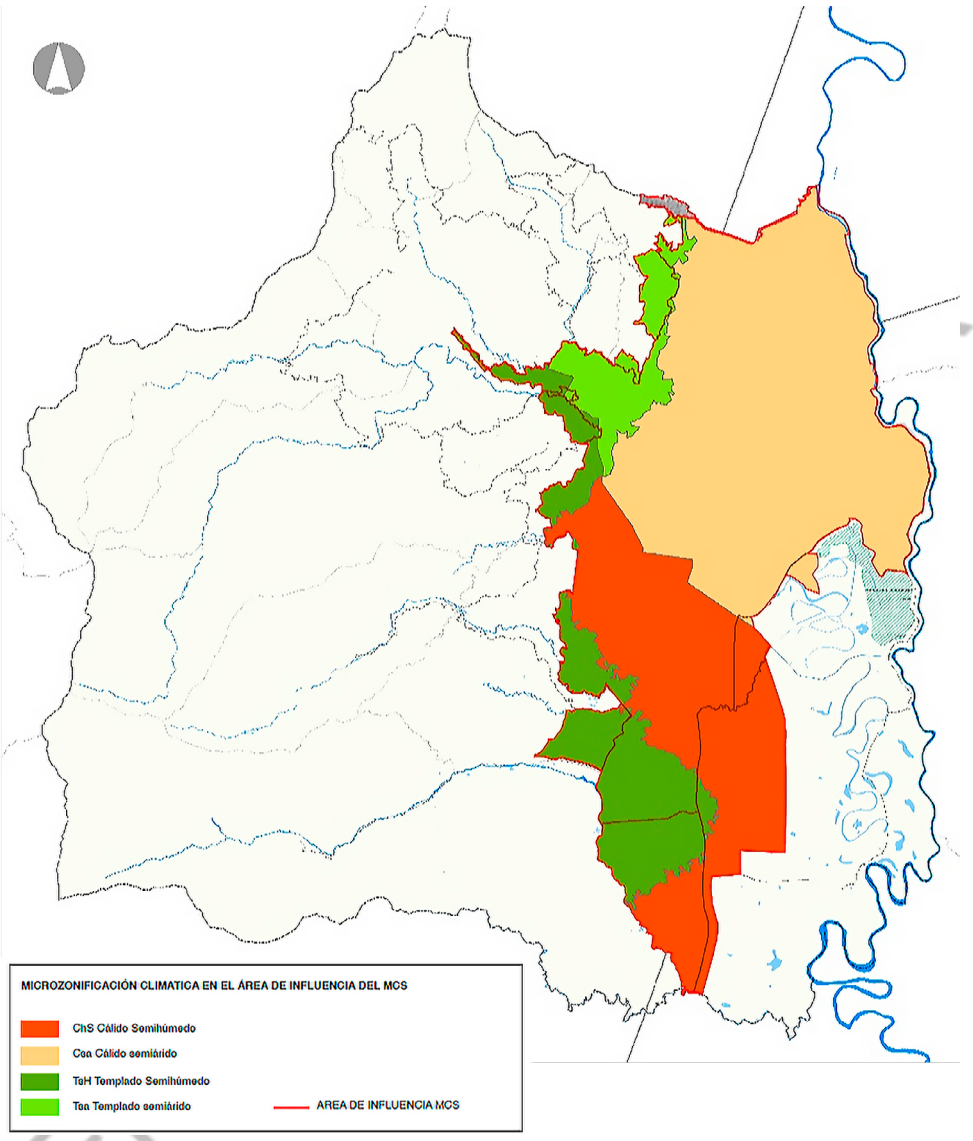


Figura 1. *Clasificación climática en el área de influencia del Manual de Construcción Sostenible.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

En este sentido, se elaboraron dos archivos climáticos con extensión epw. que fueron parte importante para definir entre otros aspactos los rangos de confort térmico, las estrategias bioclimáticas a trabajar y su nivel de sensibilidad con las respectivas simulaciones computacionales.

Con el objetivo de definir los tipos de estrategias bioclimáticas más eficaces para alcanzar el confort térmico se elaboró un diagrama psicométrico por cada clima, los cuales integran todos los registros de temperatura y humedad relativa contenidos en el archivo climático.

De acuerdo con los diagramas de Givoni (1969) presentados en la figura 2 y la figura 3 correspondientes al clima Cálido semihúmedo y Cálido semiárido, se distinguen dos grandes tipos de estrategias comunes en ambos climas: protección solar y ventilación natural.

En cuanto a la protección solar se encuentran estrategias tales como los elementos de protección solar, la orientación y forma del edificio, el valor U y la reflectividad de la envolvente, la relación ventana pared, entre otros.

Por su parte, en las estrategias de ventilación natural se encuentra la ventilación cruzada, la ventilación nocturna y la ventilación por diferencial térmico.

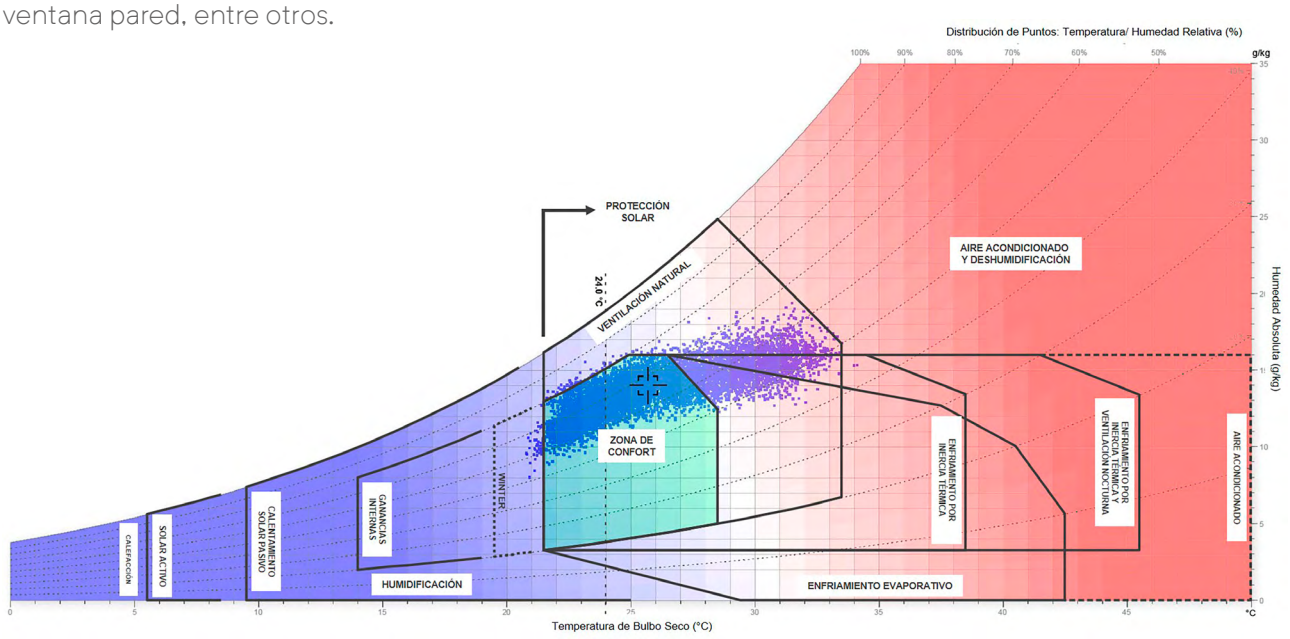


Figura 2. *Diagrama Psicrométrico de Givoni para el clima cálido semiárido.*
Fuente: *elaboración propia, mediante software Psychrometric Chart (Marsh, 2018), 2021.*

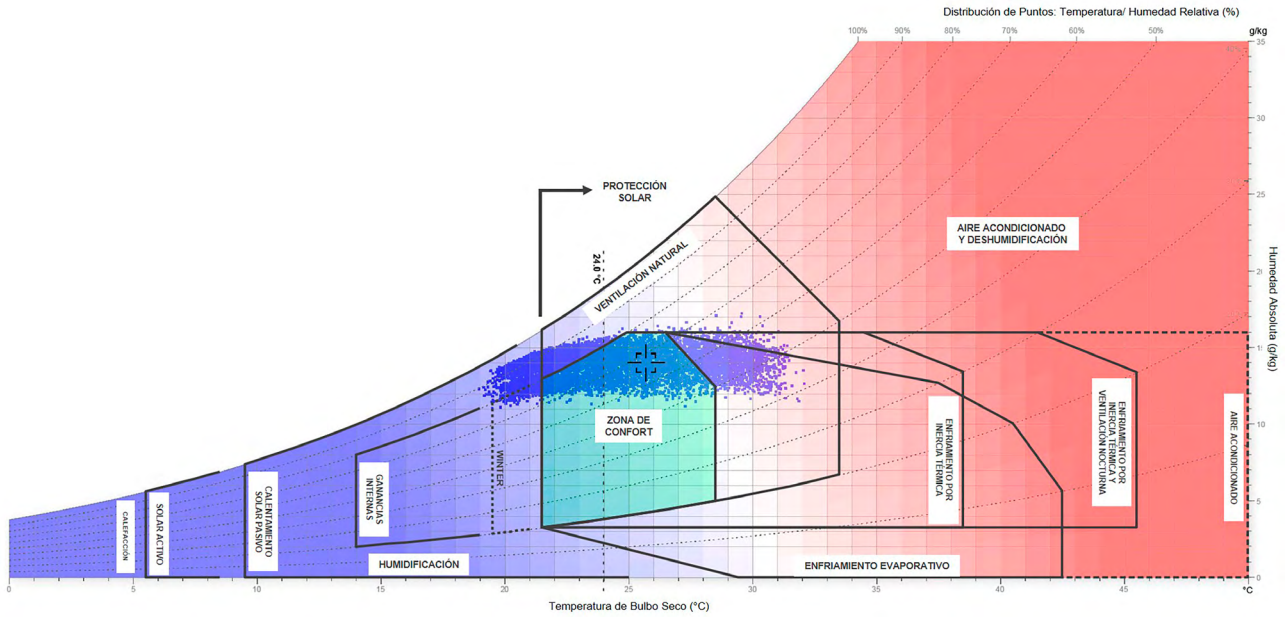


Figura 3. *Diagrama Psicrométrico de Givoni para el clima Cálido semihúmedo.*
Fuente: *elaboración propia, mediante software Psychrometric Chart (Marsh, 2018), 2021.*

B.

Confort térmico

VERSIÓN BORRADOR

Definición

Según la norma ISO 7730 (International Organization for Standardization, 2005), el confort térmico es el estado mental en el cual se expresa satisfacción con el ambiente térmico. Por esta razón las condiciones para alcanzarlo son subjetivas. Sin embargo, mediante estadísticas basadas en experimentaciones, se han podido conocer los parámetros y rangos con los cuales la mayoría de las personas se encuentran térmicamente confortables.

La sensación térmica humana depende de parámetros ambientales y antrópicos. Entre los ambientales se encuentran la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del aire y la temperatura media radiante; los cuales dependen del clima y de las condiciones del entorno construido. Por su parte, en los parámetros antrópicos se encuentran el aislamiento térmico de la vestimenta y la actividad física desarrollada por cada individuo la cual definirá su tasa metabólica. De acuerdo con la Resolución 0549 de 2015 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015), existen diferentes métodos para determinar si existen o no las condiciones de confort térmico; entre ellos se menciona el modelo propuesto por Fanger (1972), y se señala que, como norma general, el confort térmico se obtiene a una temperatura del aire entre 21°C y 25°C y una humedad relativa entre el 20% y el 75%. Pero, además se aclara que no sólo depende de la temperatura y la humedad relativa, sino que también la vestimenta, la actividad física, la velocidad del aire y otros factores determinan si una persona se encuentra en condiciones de confort.

Sin embargo, en la actualidad autores como Carlucci, Bai, De Dear, & Yang, (2018) y Forgiarini Rup, Giraldo Vásquez, & Lamberts, (2015), coinciden en las limitaciones y discrepancias de este modelo con las sensaciones de confort expresadas por personas que habitan edificaciones ventiladas naturalmente o latitudes tropicales.

Estos autores encontraron que en estas latitudes y edificios los ocupantes tienen un rango más amplio de confort debido a la capacidad de los seres humanos de adaptarse al clima. Por esta razón, el modelo adaptativo se ha venido usando como alternativa por ASHRAE en el Standard 55 desde 2004 (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers [ASHRAE], 2004). De Dear y Brager (1998), exponen que en este modelo las personas juegan un papel dinámico creando sus propias preferencias térmicas a través del modo en el que ellos interactúan con el ambiente, cambiando su vestimenta, actividad o adaptando la apertura de las ventanas del edificio gradualmente a sus expectativas en función del ambiente térmico en el que se encuentren y no son un objeto estático.

Rangos de confort térmico en ambientes interiores

Givoni (1969) elaboró un diagrama que consiste en una carta psicométrica dividida en diferentes zonas, las cuales proponen estrategias arquitectónicas en busca de brindar confort térmico a los ocupantes del proyecto.

El mismo Givoni en 1992 actualizó este diagrama ampliando los límites de confort, teniendo en cuenta que las personas que habitan edificios ventilados naturalmente tienen una capacidad mayor de adaptarse al clima y tolerar más amplias variaciones de temperatura y velocidad del aire (Givoni, 1992).

Atendiendo lo encontrado en los estudios de Givoni (1992), Olgyay (1963), Carlucci, Bai, De Dear, & Yang, (2018), Forgiarini Rup, Giraldo Vásquez, & Lamberts, (2015) y en el Standard 55 de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers [ASHRAE], 2004) se elaboró la figura 4 para determinar los rangos de confort, los cuales se condensan en la tabla 1, que contiene las exigencias mínimas para alcanzar el confort térmico en cada uno de los pisos térmicos presentados en la ciudad, en la cual se especifican los rangos admisibles para cada una de las variables influyentes considerando una actividad sedentaria y una vestimenta acorde con cada clima.

VERSIÓN BORRADOR

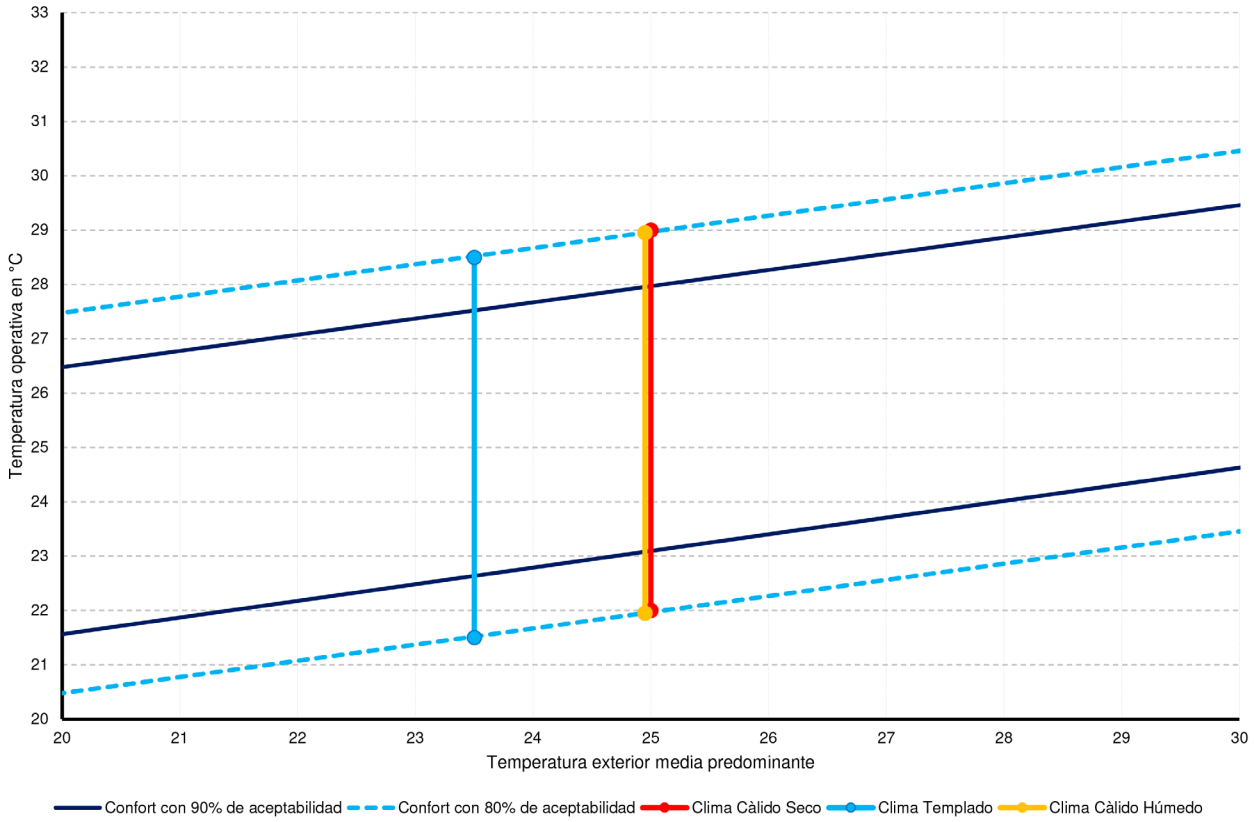


Figura 4. *Gráfica de evaluación de confort térmico mediante el modelo adaptativo según la temperatura exterior media predominante.*
Fuente: *elaboración propia basado en la figura 5.3 del Standard 55 de ASHRAE, 2004).*

RANGOS DE CONFORT TÉRMICO EN AMBIENTES INTERIORES			
CLIMA	**VARIABLE**	**LÍMITE INFERIOR**	**LÍMITE SUPERIOR**
CÁLIDO SECO	Temperatura Operativa	22°C	29°C
	Humedad Relativa	20%	80%
	Velocidad del Aire	0 m/s	2 m/s
CÁLIDO HÚMEDO	Temperatura Operativa	21,8°C	28,8°C
	Humedad Relativa	20%	80%
		0 m/s	2 m/s

Tabla 1. *Rangos de confort térmico para los climas cálido húmedo y cálido seco de Santiago de Cali.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

C.

Confort visual

VERSIÓN BORRADOR

Definición

El confort lumínico es definido como un conjunto de condiciones ambientales, con las cuales el ser humano puede llevar a cabo su funcionalidad visual con agudeza y precisión; y a su vez teniendo mínimo esfuerzo, perjuicio a la vista y riesgo de accidentes (Comisión Internacional de Iluminación [CIE], 2003). Por lo tanto, se deben propiciar niveles lumínicos acordes a la actividad que se adelantará en el espacio interior, con homogeneidad, evitando el deslumbramiento y con un adecuado contraste.

Los requerimientos lumínicos de un ambiente interior se determinan especialmente por la actividad que se va a cumplir en este. Aunque estas condiciones puede que no sean satisfactorias para todas las personas dado que hay subjetividades, sí se han podido generalizar las características de unas buenas condiciones de iluminación, entre las cuales además de un determinado nivel de iluminancia, también está su homogeneidad, la eliminación del deslumbramiento y la relación visual con el ambiente exterior.

En el ámbito nacional, el Reglamento técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) (Ministerio de Minas y Energía, 2019), sugiere los niveles mínimos de iluminancia que deben cumplirse en espacios interiores, con base en la norma internacional ISO 8995 (Comisión Internacional para la Iluminación [CIE], 2002). En la actualidad se tiene a la mano varios programas de simulación computacional que facilitan la revisión de estos parámetros de calidad lumínica de forma muy acertada como se muestra en la figura 5.

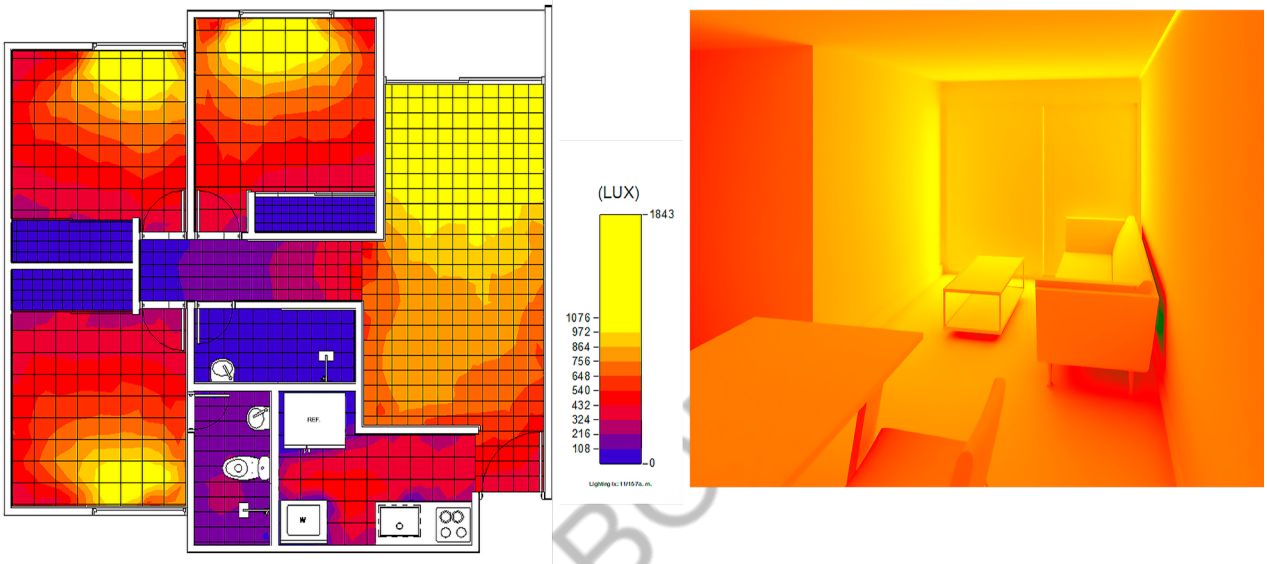


Figura 5. *Simulación de iluminación natural en un apartamento típico en Cali, realizado en el programa Revit Insight, licencia educativa 2020.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Rangos de confort visual en ambientes interiores

Entre los aspectos más básicos del confort visual está el control del deslumbramiento. Ya que se trata de iluminación natural y no artificial, esta condición va muy ligada a la estrategia de protección solar y el efecto de impedir la penetración de los rayos directos del sol al interior de los espacios.

De igual modo, son importantes los niveles de iluminancia de los espacios, conforme al RETILAP y a lo dispuesto por la CIE, existen ciertos niveles de iluminancia que son adecuados para desempeñar las actividades humanas. La consigna de diseño debe ser que, en ningún momento de la operación del proyecto, la iluminancia promedio podrá ser superior al valor máximo o inferior al valor mínimo establecido. Por ejemplo, para una actividad de lectoescritura como la de oficinas, se requiere una iluminancia media de 500 luxes, con un mínimo de 300 luxes y un máximo de 750 luxes.

Además de estas dos condiciones una adecuada iluminación natural debe cumplir con uniformidad ya que para adaptarse la visión a cambios drásticos de niveles de iluminancia el ojo realiza esfuerzos que sumados repetitivamente producen fatiga visual. Por lo tanto, se recomienda que las áreas circundantes a la zona de trabajo no se reduzcan ni aumenten los niveles de iluminancia en un porcentaje mayor al 30%.

Por último, estas condiciones se complementan con una adecuada visibilidad del exterior, ya que la relación visual con el entorno proporciona beneficios en la salud mental y anímica de los ocupantes.
Se ha demostrado que la conexión visual con la naturaleza tiene un impacto positivo en la respuesta emocional, en la mejora cognitiva, así como en la reducción del estrés y la mejora en el bienestar general.

Como se muestra en la figura 6, los vanos son el medio principal para proporcionar la conexión entre el adentro y el afuera, obteniendo las ventajas de la conexión visual con la naturaleza sin sacrificar la comodidad térmica. Esta visual directa al exterior a través del acristalamiento es conocida como línea de visión o visibilidad al horizonte.

Los seres humanos reconocen los entornos a través de la integración de los sentidos, la vista es uno de ellos, en donde la visual al exterior o la falta de ella puede afectar incluso la sensación térmica.

Estudios como los de Sadek, Ahmed H & Mahrous, Rewaa (2018) y Ko et al., (2020) han demostrado la importancia de la conexión con el ambiente exterior y el aire libre para la salud y el bienestar de las personas. Las visuales hacia la naturaleza en particular pueden mejorar el desempeño y afectar el estado de ánimo. Por lo que este aspecto se ha convertido en un elemento clave del confort visual, casi tan significativo como la entrada de luz natural.

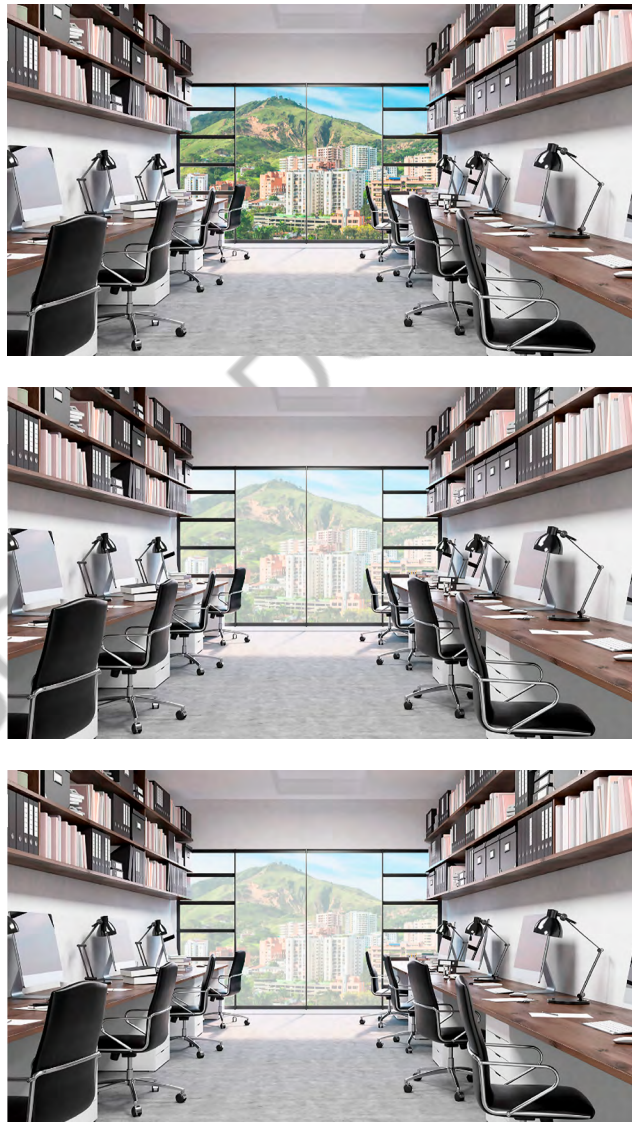


Figura 6. *Diferentes vistas según el diseño y el tipo de fachada en donde se ve la influencia de las ventanas en la calidad visual de los espacios interiores.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

1.1.

Estrategias bioclimáticas para el confort térmico

VERSIÓN BORRADOR

CE1. Orientación y forma del edificio

CE1.1. Orientación y forma del edificio

La forma del edificio es el conjunto de características geométricas y volumétricas que lo definen. En busca de alcanzar el confort térmico la forma óptima de un edificio es aquella con la cual se pierde la mínima cantidad de calor en climas fríos y se absorbe la menor cantidad de radiación solar en climas cálidos.

El objetivo de esta medida es disponer de una forma óptima a las edificaciones para que capten la menor cantidad de radiación solar. Autores como Olgyay (1963) y Kosir (2018) señalan que para climas cálidos en latitudes ecuatoriales como la de Cali, la forma óptima debe ir acompañada de una adecuada orientación.

Con ese criterio, la forma debe tener un aspecto alargado en planta, con una relación que va entre 1:1,7 y 1:3. En cuanto a la orientación, los lados cortos deben coincidir con las fachadas este y oeste.

Ambas características del edificio conforman así una estrategia para reducir la ganancia de radiación solar. En la figura 7 se observa un edificio de una relación de aspecto de 1:2 bajo tres tipos de orientación y cómo estas afectan la ganancia de radiación por mayor superficie expuesta.

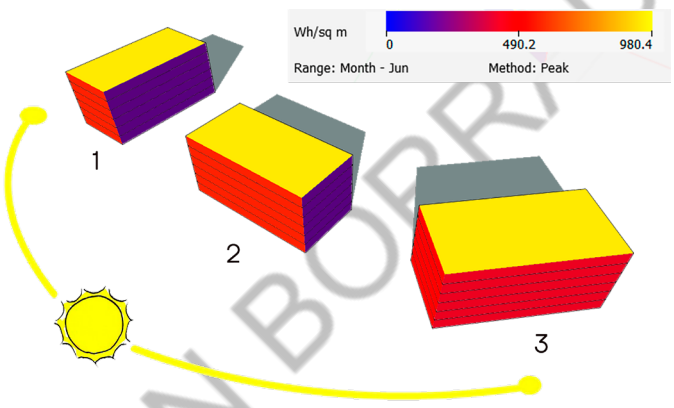


Figura 7. *Simulación de radiación solar sobre un edificio en W/m², bajo tres condiciones de orientación para el mes de junio a las 3pm; 1 fachadas más largas hacia el norte y el sur; 2. fachadas más largas hacia el este y el oeste; 3 posición del edificio a 45 grados hacia el oeste. Realizado con el programa Formit 2021 versión 2021.4.0.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CE2. Protección solar en vanos

CE2.1./2.2. Protección solar en vanos orientados este y oeste / norte y sur

La estrategia de protección solar en vanos consiste en la capacidad del edificio de proteger el espacio interior de la entrada de radiación solar directa. Es una característica esencial para alcanzar el confort térmico y la eficiencia energética en los climas cálido secos o húmedos durante la totalidad del año.

Es una estrategia que además de evitar el sobrecalentamiento de los espacios interiores, mejora el ambiente visual evitando el deslumbramiento. La protección solar en vanos comúnmente se realiza por medio de elementos horizontales y verticales como aleros, balcones, persianas, descolgados, pantallas, pérgolas, quiebrasoles, alerones, entre otros.

VERSIÓN BORRADOR

Algunos de estos elementos se aprecian en la Biblioteca Mario Carvajal de la Universidad del Valle de Cali, Sede Meléndez en la figura 8.

De acuerdo con la Resolución 0549, los ahorros alcanzados en climatización mediante la implementación de esta estrategia van desde el 11% hasta el 17% dependiendo del tipo de edificación analizada. El objetivo de esta estrategia es proteger en los vanos el ingreso de calor y el alto flujo luminoso proveniente de la radiación directa del sol, sobre todo en los momentos del día en que se exceden los rangos de confort.



Figura 8. *Elementos de protección solar en vanos y circulaciones incluidos en la arquitectura. Biblioteca Mario Carvajal Biblioteca Mario Carvajal, arquitecto: Bruno Violi, Universidad del Valle, Meléndez.*

Fuente: *edición de Hugo Alegría L.*

CE3. Aperturas y vanos

CE3.1. Relación ventana-pared entre 30% y 40%

Esta estrategia se refiere al equilibrio que debe existir entre el área de ventanas y el área de paredes de la envolvente vertical del edificio. Debe mantenerse este equilibrio debido a que los elementos vidriados permiten la penetración directa del sol y poseen mucha menor resistencia térmica al calor que los elementos opacos. En climas cálidos, un alto porcentaje de elementos vidriados puede incrementar sensiblemente la insatisfacción térmica y por ende el consumo eléctrico en enfriamiento.

Como se muestra en la figura 9, la relación ventana pared (RVP) se mide en porcentaje, donde 0% equivale a ausencia de ventanas y 100% a que la totalidad del muro está conformado por vidrio.

De acuerdo con la Resolución 0549, los ahorros alcanzados en climatización mediante la implementación de esta estrategia van desde el 5% hasta el 15% dependiendo del tipo de edificación analizada.

El objetivo de esta estrategia es mantener el balance de entrada de iluminación, ventilación y visibilidad exterior, contra los impactos de la ganancia de calor por medio de la entrada directa del sol.

BORRADOR

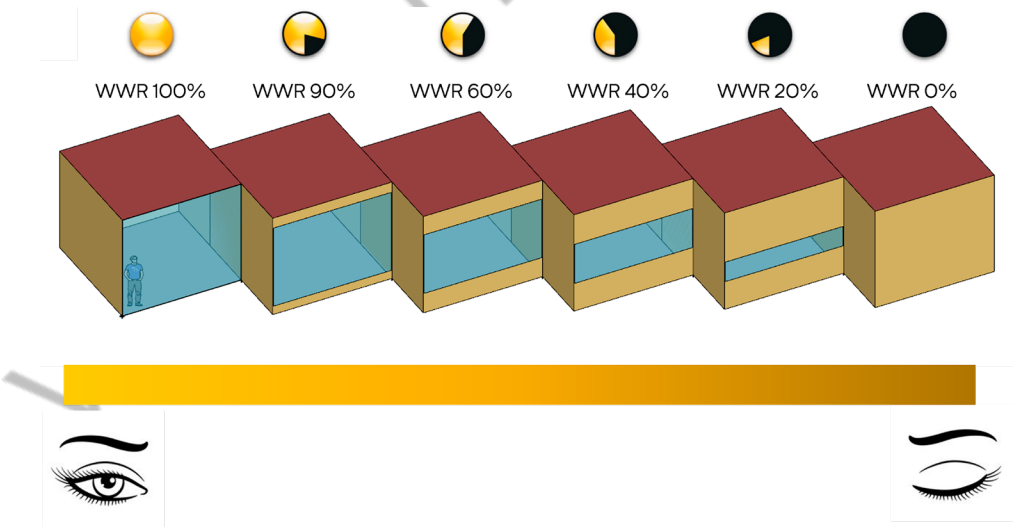


Figura 9. *Esquema tridimensional de proporción de ventanas en fachada exterior en relación con la visibilidad y la iluminación natural. Imagen inspirada en Valladares-Rendón, Schmidt, & Lo (2017).*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CE3.2. Geometría de ventanas tipo cinta

La geometría de las ventanas comprende un conjunto de características como la forma y posición de estas en la envolvente vertical, que influyen no solo en el desempeño térmico de las edificaciones sino también en el desempeño lumínico y de calidad del aire de las edificaciones.

En el aspecto formal se alude a la relación de longitud y altura de la ventana, mientras que la posición se refiere al lugar que esta ocupa en la fachada de cada nivel de la edificación. Lo anterior se explica en los gráficos de la figura 10.

Los resultados del análisis de sensibilidad realizados con este conjunto de características de las ventanas señalan reducciones de hasta 1,77% en la cantidad de horas de insatisfacción térmica anual y por consiguiente reduce el consumo eléctrico destinado a climatización.

Con esta estrategia se busca disponer de una forma y localización de ventanas óptimas con el fin de aportar positivamente a la habitabilidad de los espacios interiores en cuanto al desempeño térmico, lumínico y de calidad del aire.



Figura 10. *A la izquierda: vista interior de la tipología de ventanas en "cinta". A la derecha: diversas posiciones de la misma ventana con igual RVP.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

CE3.3. Ventilación cruzada mediante ventanas operables en caras opuestas o adyacentes de los espacios

La ventilación natural es una técnica de enfriamiento pasivo en la cual se utilizan la fuerza del viento y las aberturas de la edificación para permitir el ingreso de aire exterior al interior de los espacios. Los efectos de la ventilación natural mejoran la calidad del aire y el confort térmico, ya que el aire interior contaminado y caliente se renueva con aire más frío, oxigenado y descontaminado.

Por su parte, la ventilación cruzada es uno de los tipos de ventilación natural en el cual, las aberturas de los espacios se disponen en paredes opuestas o adyacentes, permitiendo así la entrada y salida del aire de una forma más efectiva y eficiente, como lo explica el gráfico de la figura 11.

Una deficiente ventilación natural acompañada de insatisfacción térmica, influye muy negativamente en la salud de las personas (Ormandy & Ezratty, 2012). Ventilar los espacios interiores es fundamental no solo para renovar el aire interior contaminado y para eliminar sustancias que pueden resultar perjudiciales para la salud, sino que también es necesario para brindar confort térmico a los ocupantes y por ende reducir los consumos energéticos en enfriamiento mecánico.

El fin de esta medida es proveer una fuerza que aleje el aire caliente y contaminado de los espacios interiores y lo reemplace por aire fresco y oxigenado. Con el fin de tener espacios interiores con mejor calidad de aire, más salubres y confortables térmicamente.

Algunas tipologías de ventanas suelen ser más efectivas para esta estrategia debido a que permiten la apertura de un mayor porcentaje de su área para ventilar, esta idea se ilustra en la figura 12.

VERSIÓN BORRADOR

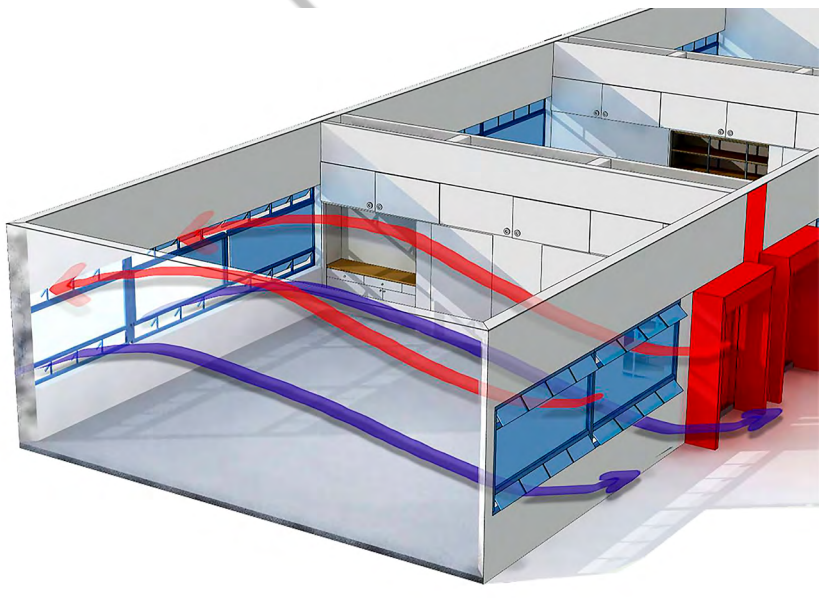


Figura 11. *Diagrama de ventilación cruzada.*
Fuente: *Zurvi Uruguay.*

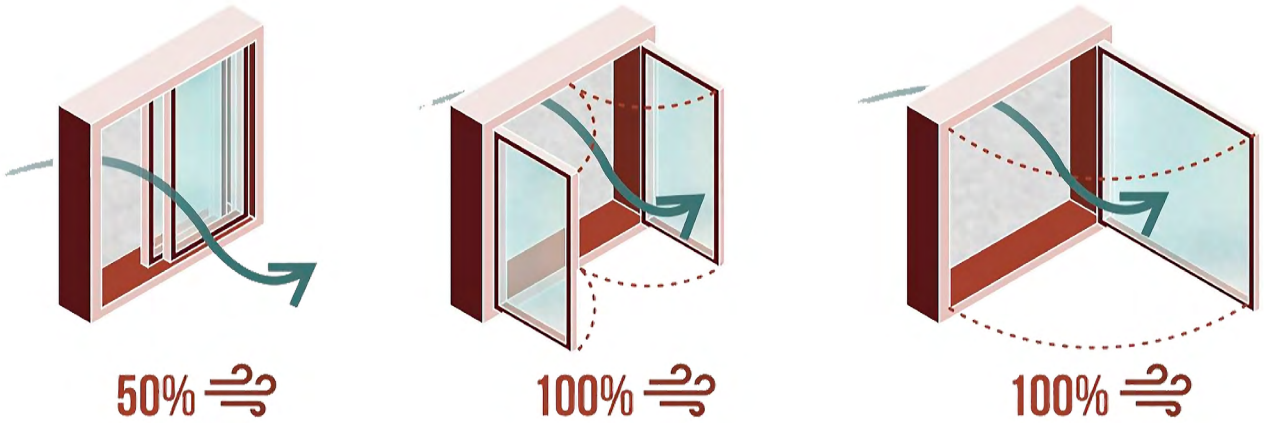


Figura 12. *Diferentes tipos de ventanas y porcentajes de paso del aire.*
Fuente: *Matheus Pereira.*

VERSIÓN BORRADOR

CE4. Características de la envolvente

CE4.1. Envolvente vertical con un valor U de 1.21 W/m²°k o inferior

El valor U o transmitancia térmica es la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie a través de un sistema constructivo que puede estar conformado por una o varias capas de diferentes materiales. En el sistema universal se mide en W/m2°K.

El desempeño de esta estrategia está ligado a la capacidad de conducir el calor de los materiales que componen la envolvente vertical, es decir, entre menos valor U tengan las capas de materiales que conforman la envolvente, mejor se impedirá el ingreso del flujo de calor al interior. La figura 13 relaciona el valor U de algunos materiales con su espesor, capacidad de aislamiento térmico y su gasto energético.

La mayor parte de la envolvente vertical de las edificaciones está conformada por elementos opacos, por lo tanto, el valor U de estos elementos determinan la cantidad de calor que ingresa al interior de los espacios por conducción, lo cual se ve reflejado en el confort térmico y en el consumo energético destinado a enfriamiento.

En cuanto al confort térmico si el valor U de la envolvente vertical es deficiente, la temperatura media radiante (que burdamente es la temperatura que poseen los elementos constructivos) se elevará e irradiará calor al interior produciendo sensaciones térmicas insatisfactorias.

El objetivo principal de esta estrategia es impedir que el flujo de calor proveniente del exterior se transfiera al interior por conducción a través de la envolvente vertical de las edificaciones.

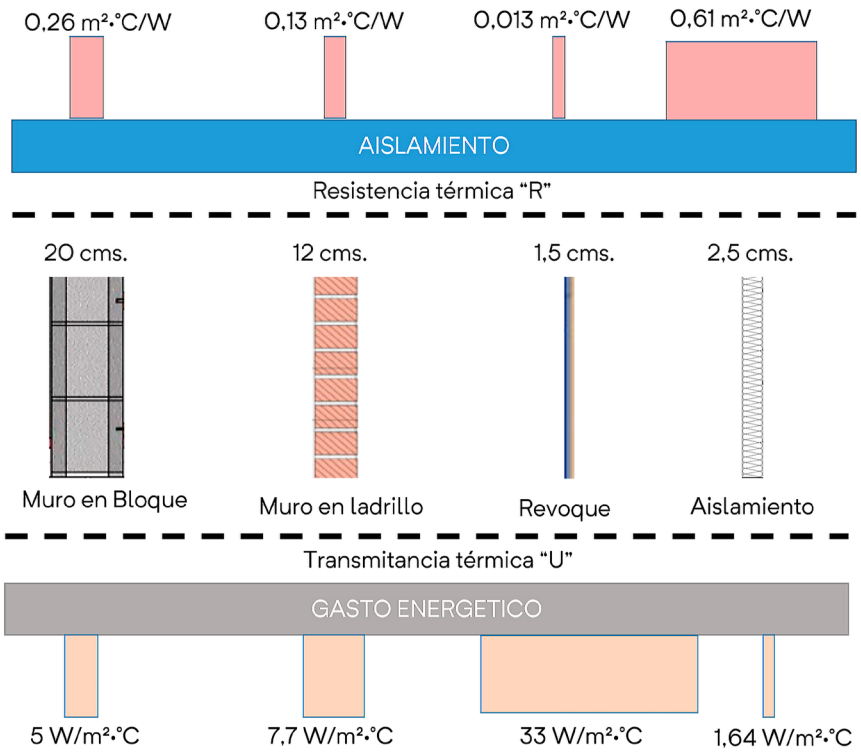


Figura 13. *Materiales de la envolvente, espesores y relación entre su transmitancia y su resistencia térmica.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSION

CE4.2. Envolvente vertical de colores claros con un valor de reflectividad igual o superior al 0,6

La reflectividad es una propiedad física de las superficies que indica la capacidad de reflejar o absorber la radiación solar. Se mide en una escala de 0 a 1 o porcentaje, siendo 0,0 el valor que más absorbe calor y 1,0 lo más reflectivo.

Esta estrategia pasiva se caracteriza por evitar la ganancia térmica proveniente del sol mediante la aplicación de pinturas, membranas, recubrimientos y enchapes en la envolvente vertical que poseen alta reflectividad. Las superficies con alta reflectividad absorben menos calor y permanecen más frescas porque gran parte de la radiación solar es reflejada al ambiente exterior. Generalmente los colores claros poseen esta característica.

Esto se traduce en ahorros energéticos dedicados a enfriamiento y de acuerdo con los resultados del análisis de sensibilidad realizados con esta medida señalan una reducción máxima de hasta 3,87% en las horas de insatisfacción térmica.

La meta de esta medida es evitar la ganancia térmica proveniente del sol mediante la aplicación

de materiales naturales, pinturas, membranas, recubrimientos y enchapes especiales, que poseen muy baja absortividad. La figura 14 muestra dos tipos de muros; el de la izquierda sin tratar y el de la derecha con un acabado reflectivo hacia su exterior, se debe considerar que no siempre las pinturas o acabados en este tipo de solución deben ser colores como el blanco que tiene una alta reflectividad, sino que también existen otros productos que presentan características similares, por lo que se recomienda siempre consultar a su proveedor para corroborar estas propiedades.



Figura 14. *Reflectividad en dos casos: superior- muro común usado en cerramiento, inferior- muro con acabado de alta reflectancia.*
Fuente: *Vinyl Siding Institute. www.vinylsiding.org*

CE4.3. Cubierta con valor U igual o inferior a 0.5 w/m²°k

El valor U o transmitancia térmica es la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie a través de un sistema constructivo que puede estar conformado por una o varias capas de diferentes materiales. En el sistema universal se mide en W/m²°K.

El desempeño de esta estrategia está ligado a la capacidad de conducir el calor de los materiales que componen la cubierta, es decir, entre menos valor U tengan las capas de materiales que conforman la cubierta, mejor se impedirá el ingreso del flujo de calor al interior.
El valor U en la cubierta es un indicador de sus capacidades aislantes, La tasa de pérdida de calor de un techo se indica en términos de su valor U. Entre más bajo el Valor U, mayor es la resistencia de un techo al flujo de calor y mejores son sus propiedades aislantes.

El objetivo de esta medida es impedir que el flujo de calor proveniente del exterior se transfiera al interior por conducción a través de la envolvente vertical de las edificaciones, con la intención de lograr confort térmico interior y reducir el consumo energético en climatización.

COLABORADOR

CE5. Confort lumínico en edificaciones

CE5.1. Control del deslumbramiento

Para mantener estable la luz natural conviene que predomine la luz difusa captada de la bóveda celeste, evitando la luz solar directa diseñando protecciones solares adecuadas. La estrategia de control del deslumbramiento consiste en la capacidad del edificio de proteger el espacio interior de la entrada de radiación solar directa. Es una característica esencial para alcanzar el confort lumínico durante la totalidad del año.

La protección solar en vanos comúnmente se realiza por medio de elementos horizontales y verticales como aleros, balcones, persianas, descolgados, pantallas, pérgolas, quiebrasoles, alerones, entre otros.

El control del deslumbramiento puede prevenir la fatiga visual en cortos lapsos de tiempo e incluso puede prevenir enfermedades acumulativas como cáncer de córnea o cáncer de piel. Adicionalmente, esta estrategia protege los acabados y muebles de los usuarios, impactando positivamente en la sostenibilidad económica y ambiental respectivamente.

Con esta estrategia se pretende proteger el espacio interior y las superficies de trabajo de la radiación directa del sol y su alto flujo luminoso, sobre todo en los momentos del día en que se exceden los niveles de iluminancia.

La figura 15 presenta una habitación de 7m x 7m simulada para la ciudad de Santiago de Cali a las 3 pm en el mes de julio cuando se presenta la mayor cantidad de brillo solar: 6.1hrs.

En la imagen superior se aprecia un espacio sin protección solar con promedios mínimos de factor solar de 3.76% y máximos de 31.51% en contraste la imagen inferior con protección de la luz solar directa en los vanos se obtienen valores mínimos de 2.59% y máximos de 13.17%, demostrando así un menor contraste que elimina el deslumbramiento.

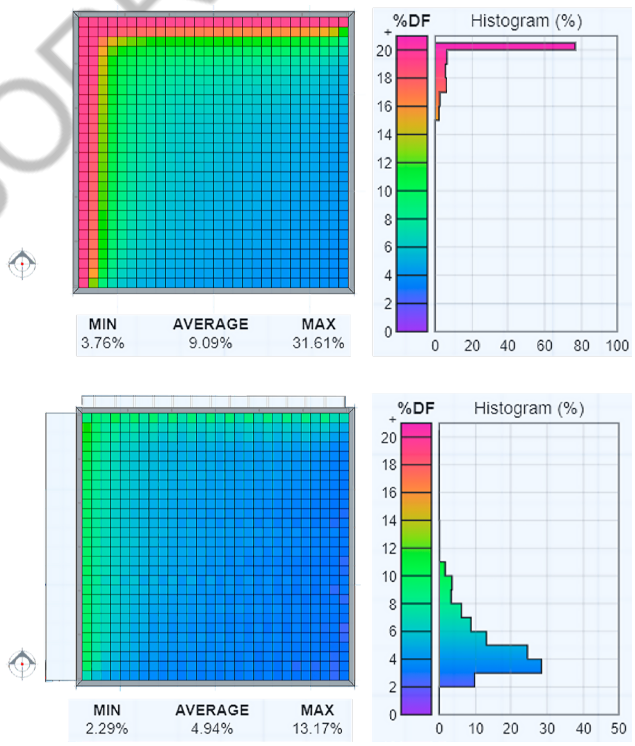


Figura 15. *Simulación del coeficiente de luz diurna en un espacio, sin protección solar (parte superior) y con protección solar (parte inferior).*
Fuente: *elaboración propia, 2021, mediante software Dynamic Daylighting (Marsh, 2018).*

VERSIÓN BORRADOR

CE5.2. Coeficiente de luz diurna adecuado con la actividad a desempeñar en el espacio

EL CLD conocido también en inglés como Daylight factor (Df) corresponde al porcentaje de iluminancia interior del recinto en relación a la iluminancia en un plano horizontal exterior, sin obstáculos bajo las mismas condiciones de cielo, en este porcentaje se excluye el efecto de radiación directa al considerar condiciones de cielo nublado. Se mide usualmente en el plano de trabajo como se explica en la figura 16.

El CLD es un indicador usado para establecer el impacto que la geometría y los acristalamientos del espacio tienen en la iluminación natural por lo que se usa para medir la disponibilidad de luz natural en interiores y el potencial de ahorro de energía. expresado en la siguiente formula:

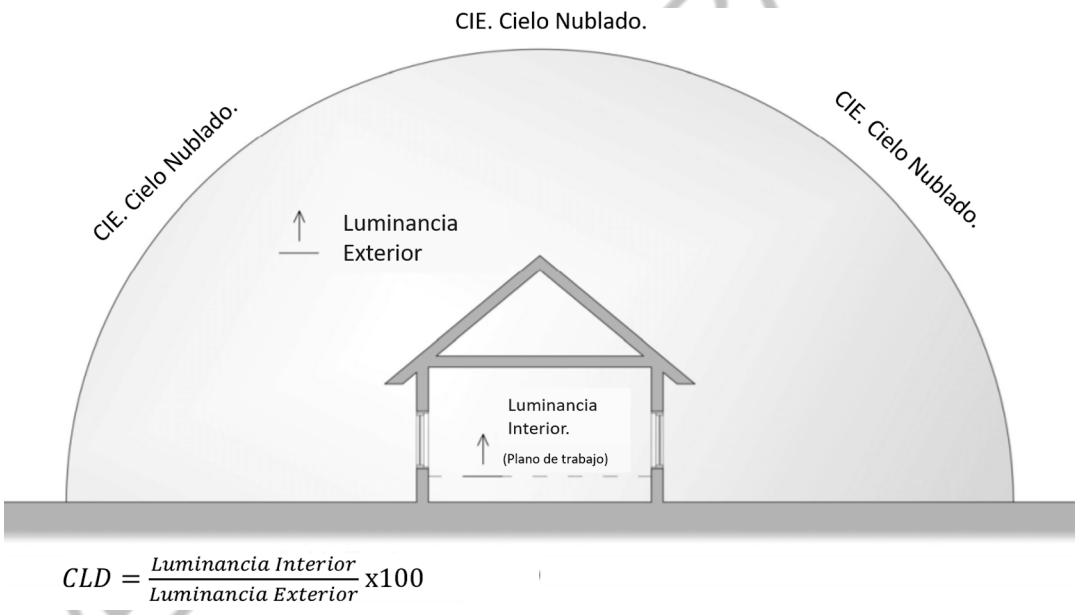


Figura 16. *Obtención del coeficiente de luz diurna, determinada en el mismo instante en un cielo uniformemente nublado y sin obstrucciones.*
Fuente: *Tiffany Otis y Christoph Reinhart de Harvard Graduate School of Design (2009).*

De acuerdo con la actividad a desarrollar se deben alcanzar determinados valores de CLD. A continuación, la tabla 2 establece los niveles promedio y mínimo de CLD de acuerdo con lo recomendado por el RETILAP.

TIPO DE EDIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN	CLD % PROMEDIO	CLD % MÍNIMO
Área de servicio		
Circulación	1	1
Depositos	1	1
Edificios en general		
Oficinas	2	2
Fábricas	5	5
Hospitales	5	1
Talleres de trabajos de precisión	10	10
Escuelas		
Aulas	5	2
Sala de juntas	2	2
Doméstico		
Cocina	2	2
Sala	2	1
Alcobas	1	0,5

Tabla 2. *Valores medios del CLD para la realización de tareas en función de su dificultad visual en locales de trabajo.*
Fuente: *Valores tomados de las tablas 410.2.2.a Valores del coeficiente de luz diurna promedio y la tabla 410.2.2.c Valores mínimos de Coeficiente de Luz Diurna (CLD) RETILAP (2010).*

CE5.3. Uniformidad lumínica

Con el fin de evitar las molestias debidas a los cambios bruscos de luminancia, la zona en donde se realice la tarea debe ser iluminada de la forma más uniforme posible. La relación entre el valor del nivel de iluminación existente en el área del puesto de trabajo donde se realiza la tarea y el nivel de iluminación general no debe ser inferior al establecido en la tabla 3, la cual está basada en la tabla 410.4 del RETILAP.

LUMINANCIA DEL ÁREA DE TRABJO EN LUXES	ILUMINANCIA DE ÁREAS CIRCUNDANTES INMEDIATAS (LX)
Mayor o igual a 750	500
500	300
300	200
Fábricas	5
Menor o igual a 200	luminancia-tarea
Talleres de trabajos de precisión	10
UNIFROMIDAD (LUMINANCIA MIN/ LUMINANCIA PROMEDIO)	
Mayor o igual a 0.5	Mayor o igual a 0.4

Tabla 3. *Uniformidades y relación entre luminancias de áreas circundantes, inmediatas al área de trabajo.*
Fuente: *Tabla 410.1 Retilap (2010).*

VERSIÓN BORRADOR

CE5.4. Acabado de los interiores con una reflectividad igual o inferior a 0,6

En óptica, la reflectividad es una propiedad física de las superficies que indica la capacidad de reflejar o absorber la luz visible. Se mide en una escala de 0 a 1 o porcentaje, siendo 0,0 el valor que menos refleja la luz y 1,0 lo más reflectivo.

Esta estrategia pasiva incrementa la luminancia, es decir aumenta la reflexión de la luz, los niveles de luminosidad que rebotan de las superficies permitiendo que también incremente la iluminancia y la luz alcance más profundamente los espacios.

En la simulación de la figura 17 se contrastan dos habitaciones la izquierda con un cielo pintado de negro (baja reflectividad) y otra con el cielo pintado de color blanco (alta reflectividad), en esta comparación se distingue claramente como el tratamiento de la superficie del cielo con alta reflectividad en la habitación derecha no solo aumenta la percepción de amplitud en el espacio, sino que incrementa los niveles de luminosidad al interior, con lo cual se obtienen ahorros energéticos y económicos en cargas destinadas a iluminación.

Otro ejemplo de reflectividad se aprecia en la figura 18 en donde las pinturas altamente reflectivas se usan en la demarcación vial para ayudar al conductor, contrastando con una superficie con muy bajos niveles de reflectancia como el asfalto. La meta de esta medida es incrementar la cantidad y la intensidad de las reflexiones de la luz del cielo en el espacio interior.

VERSIÓN PRELIMINAR

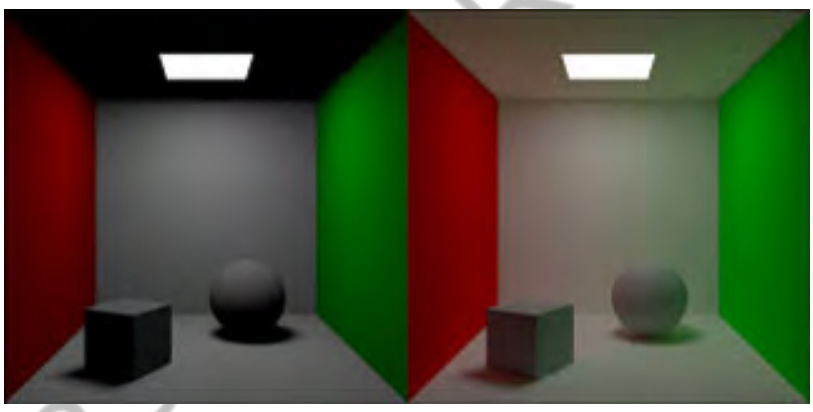


Figura 17. *Diferencia de reflectividad en las superficies de una misma habitación.*
Fuente: *www.iluminet.com/luz-iluminacion-reflectancia.*

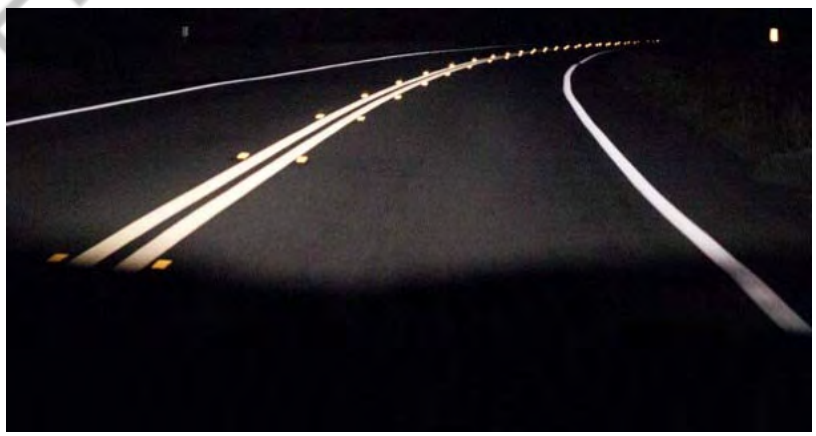


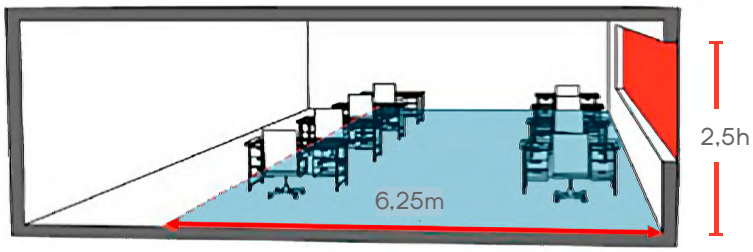
Figura 18. *La reflectividad y su aplicación en diversas situaciones.*
Fuente: *www.iluminet.com/luz-iluminacion-reflectancia.*

CE5.5. Profundidad, altura y ventana en la edificación

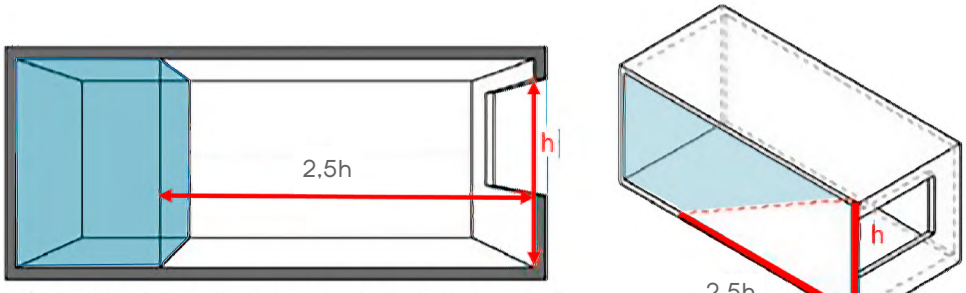
La iluminación natural en un espacio interior, se encuentra determinada por sus dimensiones, como lo son la altura y la profundidad. Esto se debe a que la profundidad útil de un espacio está limitada aproximadamente a 2,5 veces la altura del límite superior del acristalado de la ventana, como se indica en la figura 19.

Por ejemplo, en una oficina que presenta una ventana cuyo límite superior es de 2,5 m. la profundidad máxima a la que penetrará la iluminación natural será de 6,25 m.

Esto establece que debe existir un cuidado en el diseño, ya que, en este caso particular para el edificio con las características anteriores y una fachada con ventana a ambos lados, su mayor profundidad óptima para la iluminación natural sería de 12,5 m. Por lo anterior, de ser posible, la altura de piso a cielo acabado debería aumentarse para ubicar las ventanas más altas, también. La iluminación natural estará más uniformemente distribuida en un espacio si las ventanas son horizontales en vez de verticales y si están separadas en vez de agrupadas.



Distancia máxima de la luz natural respecto a la ventana.



Distancia máxima de penetración de la luz natural.

Figura 19. *Luz natural en un espacio iluminado por una sola fachada, relación entre la altura de la ventana y penetración de la luz natural en un espacio.*
Fuente: *Yuso (2013) Recuperado de www.yusoproyectos.com*

1.2.

Importancia

VERSIÓN BORRADOR

Por un lado, un ambiente confortable térmicamente favorece la comodidad y salubridad de los ocupantes debido a que el cuerpo humano no requiere iniciar acciones de termorregulación incómodas como transpirar o tiritar. Por el contrario, cuando el ambiente térmico genera una pérdida o ganancia de calor excesiva, el ser humano activa estos mecanismos e incluso busca equilibrarse térmicamente con dispositivos externos como calefactores, ventiladores o aires acondicionados los cuales propician las enfermedades, consumen energía eléctrica y recursos económicos.

Se conoce que las edificaciones consumen el 41% de la energía generada a nivel mundial y cerca del 44% de esa energía es destinada al funcionamiento de equipos de climatización. Por lo tanto, si uno de los objetivos apremiantes en la actualidad para el sostenimiento de la vida es reducir el Calentamiento Global generado por las emisiones de gases de efecto invernadero producidas entre otros por la generación de energía, se debe propiciar ambientes confortables térmicamente para evitar este consumo energético.

De otro lado, un ambiente le permite al usuario del espacio tener la agudeza visual máxima cuando la luminosidad de la tarea a desarrollar es similar a la existente en el campo visual del trabajador. Sin embargo, cuando la luminosidad de la tarea es muy diferente a la del entorno se puede producir una reducción de la eficiencia visual y la aparición de fatiga, como consecuencia de la repetida adaptación de los ojos.

El ser humano posee una conexión natural con la luz del sol, ya que activa o desactiva hormonas en su cuerpo determinando el ciclo circadiano de vigilia o descanso. Una adecuada o inadecuada relación con la luz natural en el interior de las edificaciones puede regular o alterar estos ciclos los cuales afectan significativamente la calidad de vida humana. Además, la ausencia o muy poca exposición a la luz natural del sol reduce la producción de dopamina intraocular que impide el alargamiento del ojo generando miopía. De otro lado, la radiación solar directa sobre las superficies de trabajo y las largas exposiciones al deslumbramiento pueden producir fatiga y enfermedades acumulativas como el cáncer de córnea.

Iluminar naturalmente los espacios reduce los consumos energéticos en iluminación artificial, mejorar la salud anímica de los usuarios que a su vez mejora el confort y la productividad en el desempeño de las actividades cotidianas.

1.3.

Objetivos

Con relación al confort térmico se encuentran los siguientes objetivos:

1. Proporcionar a los ocupantes de ambientes interiores adecuadas condiciones de bienestar higrotérmico.
2. Evitar el consumo energético en equipos de climatización activa.

Mientras que en relación al confort visual tenemos los siguientes objetivos:

3. Propiciar la comodidad visual en los ocupantes de espacios interiores y exteriores.
4. Disponer el uso y apropiación correcta de los espacios para la realización de las actividades de los usuarios.
5. Evitar la aparición de enfermedades o accidentes debido a deficientes condiciones lumínicas.
6. Incentivar el uso de la luz natural con el fin de incrementar la comodidad de los usuarios y la eficiencia energética

VERSIÓN BORRADOR

1.4.

Asesores

Durante la etapa de dieño de las edificaciones, para el tema de **confort térmico se recomienda: Arquitecto o ingeniero con postgrado en Bioclimática, Confort térmico o relacionados.**

Mientras que para el **confort lumínico se recomienda: Arquitecto o ingeniero eléctrico con postgrado en bioclimática o luminotecnia, ingeniería ambiental o relacionados.**

1.5.

Metodología

VERSIÓN BORRADOR

Análisis de sensibilidad de estrategias bioclimáticas para confort térmico

El análisis de sensibilidad permite predecir la tasa de optimización del confort térmico que aporta cada una de las estrategias bioclimáticas al ser implementadas en las edificaciones por medio de la comparación entre los resultados de la línea base y los modelos mejorados.

La utilidad del análisis es:

- Soporta la toma de decisiones para el desarrollo de recomendaciones para el Manual de Construcción Sostenible local.
- Mejora la comunicación de quienes hacen modelos hacia los que toman decisiones (por ejemplo, haciendo recomendaciones más creíbles, entendibles, sugerentes y persuasivas);
- Aumento de la comprensión o cuantificación del sistema.
- Ayuda a comparar tipos de edificación y medidas en forma simultánea.

La metodología utilizada para hacer dicho análisis en este Manual sigue lo indicado en el documento técnico de soporte (DTS) de la Resolución 0549 de 2015 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015), la cual señala los procedimientos y datos de entrada para realizar las simulaciones computacionales y el análisis de sensibilidad de las estrategias pasivas.

Este apartado detalla el software utilizado, los datos tomados de las líneas bases de la Resolución 0549, el procesamiento de datos, la información climática, la obtención y el análisis de datos.

Flujo de trabajo y software

El software utilizado para realizar las simulaciones energéticas es Openstudio® un software de uso libre que permite la simulación energética a partir de un modelo de Sketchup, usando el motor de

VERSIÓN BORRADOR

Energyplus, el cual fue desarrollado y avalado por el NREL (Laboratorio Nacional de Energías renovables de EEUU). En primer lugar, se debe contar con unos datos climáticos del sitio; en segundo lugar, se modela geométricamente el edificio mediante Sketchup; en tercer lugar, se ingresan los datos constructivos tales como materiales y sus propiedades físicas y en último lugar se hace un modelado funcional que incluyen las cargas térmicas internas, horario de funcionamiento y calendarios de ocupación.

Un esquema de este flujo de trabajo se muestra en la figura 20. Este flujo de trabajo es empleado por el U.S. Departament of Energy para analizar el comportamiento energético de edificios para los servicios de calefacción, refrigeración, iluminación y ventilación. El estado del arte demuestra ampliamente la concordancia de los datos obtenidos mediante simulaciones con este flujo de trabajo y el desempeño térmico y lumínico en condiciones reales, lo cual es muy útil para evaluar estrategias de diseño en la edificación.

La versión de Openstudio usada fue 3.1.0, así como la versión de Sketchup 2019. La elección de este software sobre los demás dedicados a simulación energética radica en tres puntos esenciales, está avalado y extensamente utilizado en el estado del arte, es gratuito y está en constante actualización.

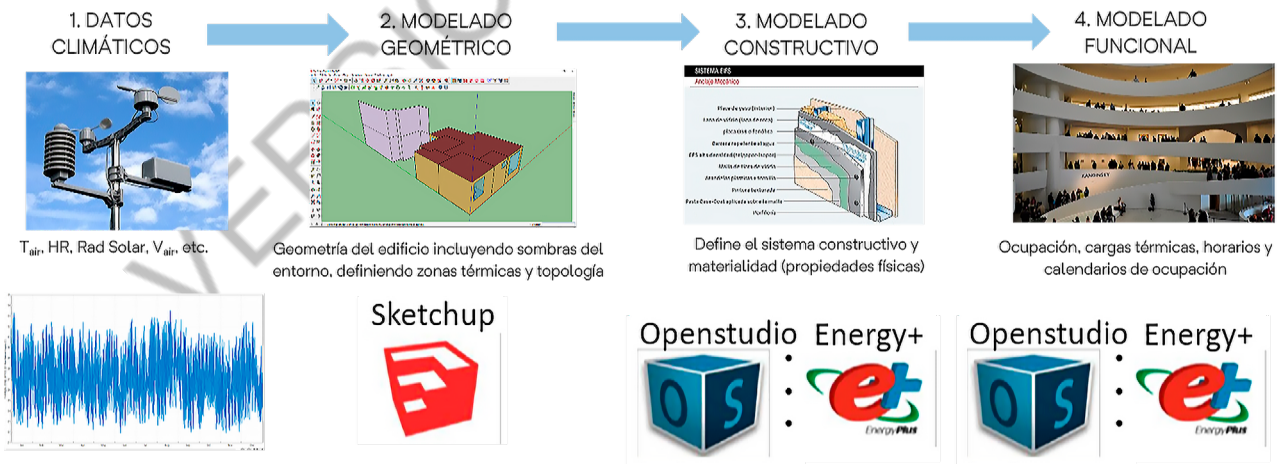


Figura 20. *Diagrama de flujo de trabajo para modelación y simulación con Openstudio.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Líneas base

Las líneas base revisadas en este Manual han sido elaboradas directamente con la información contenida en el DTS de la Resolución 0549 de 2015 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015), las cuales a su vez corresponden a modelos elaborados con base a los consumos promedios de agua y energía, perfiles de uso (horario, ocupación, sistema de iluminación, sistema de aire acondicionado, etc.) así como los sistemas constructivos más utilizados por cada tipología edificatoria en Cali.

En el proceso de simulación, posteriormente a la elaboración de estas líneas base, se aplicarán las estrategias de mejora y el análisis de sensibilidad.

Las tipologías tomadas de la Resolución 0549 por en el presente manual fueron las siguientes:

a) Vivienda de interés social (VIS)
b) Edificio de Oficinas
c) Centro comercial
d) Hotel
e) Hospital

La información para el modelado se encuentra en el capítulo "4. MODELO ENERGÍA Y AGUA – Edificaciones de Línea Base" en las tablas: 29 Dimensiones Edificación Usadas en Modelos para Clima Cálido Seco; 30 Especificaciones cerramiento edificio; 31 sistemas de iluminación y 33 horarios de funcionamiento.

En lo que refiere a los datos de entrada para el consumo de electricidad y gas, se tomó la tabla 13 Referencia de consumo de energía para Santiago de Cali. A continuación, se presenta una síntesis por tipología de la información mencionada obtenida del DTS. En la descripción se especifican constructivamente las envolventes (fachadas y cubierta) de los modelos de acuerdo al valor U descrito.

Vivienda VIS

Edificio de 5 pisos sobre el nivel del suelo, con un área por piso de 780m² en una relación de aspecto en su planta de 1:2 con orientación a sus fachadas más largas hacia el este y el oeste; con una relación ventana a pared del 31%.

- Ventana tipo cinta de tipología corrediza; las cuales poseen un valor U de 5,91 W/m²K y SHGC (ganancia solar en vidrio) de 0,78.
- Fachadas con valor U de 1,21 W/m²K construidas en bloque concreto #4 estucado y pintado al interior.
- Cubierta con un valor U de 2,26 W/m²K en concreto reforzado.

La figura 21 resume las características de la línea base de esta tipología edificatoria.

Edificios oficinas

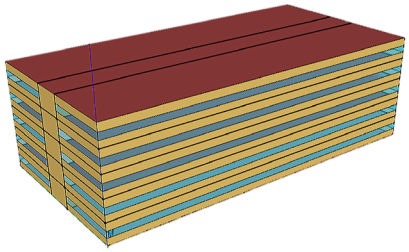
Edificio de 6 pisos con 2 sótanos por debajo del nivel del suelo y un área construida de 968m² por piso, con un aspecto en planta de 1:2, orientado con las fachadas más largas al este-oeste, con una relación ventana a pared del 50%.

- Ventana corrida de tipología corrediza; las cuales poseen un valor U es 5,91 W/m²K y SHGC (ganancia solar en vidrio) de 0,78.
- Un valor U en fachadas de 0,95 W/m²K construida en ladrillo de arcilla hueco con acabado en panel yeso o estuco al interior.
- Finalmente, una cubierta de valor U de 1,49 W/m²K en concreto reforzado con membrana de impermeabilización.

La figura 22 resume las características de la línea base de esta tipología edificatoria.

VERSIÓN BORRADOR

Vivienda VIS (DTS)



Cerramiento Edificio	Tipo Edificio	Especificación de Línea Base
Valor U pared	Vivienda VIP y VIS	Estuco Pintado + Obra bloque concreto (Bloque #4) Valor U: 1.18 W/m² K
Valor U Cubierta	VIP (MED) VIS (TODO) ALTO (TODO)	Conc Ref HW+terminado construido (fuera)

Cálido seco	Área construcción (m²)	No. Pisos arriba suelo	No. Pisos abajo suelo	Àrea piso (m²)	Dimensión en m	Altura Piso (m)	Relación Aspecto	Orientación
Vivienda VIS	15000	5	No	3000	4 x (39 x 19.5)	2.4	1 : 2	Occidental

Cálido seco	Relación Ventana a Pared (RVP)	Sombra Horizontal (VSA)	Sombra Vertical (HSA)	Valor U y SHGC	Valor U techo (W/m².K)	Valor U pared (W/ m².K)
Vivienda VIS	31%	90	90	5.91 & 0.78	2.26	1.21

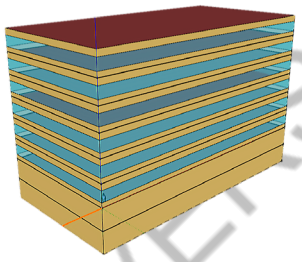
Cálido seco	Grifería de agua	Tratamiento de aguas negras & reciclaje de agua para inodoros	Captura y reutilización de agua lluvia como agua potable	Riego por Goteo Eficiente para Jardines	Recuperación de agua de condensación	Manejo de agua lluvia & recarga de agua subterránea
Vivienda VIS	No	No	No	No	No	No

Cálido seco	Densidad de potencia de luz (W/m²)	Enfriamiento	Calefacción	Coeficiente de desempeño (COP)	Economizadores (W/m²)	Variadores de frecuencia (VSD) - Torre de Enfriamiento
Vivienda VIS	3.71	No	No	N/A	N/A	N/A

Cálido seco	Tiempo operación - días en un año	Hrs de operación Días Hábiles	Hrs de operación Fines de Semana
Vivienda (VIP, VIS, no VIS)	365	24hrs	24hrs

Figura 21. *Especificación de la línea base Vivienda VIS.*
Fuente: *Documento técnico de soporte – Resolución 0549, 2015.*

Oficina (DTS)



Cerramiento Edificio	Tipo Edificio	Especificación de Línea Base
Valor U pared	Hotel / Oficina/ Hospital / Vivienda no VIS	Ladrillo arcilla hueco + acabado yeso/estuco (adentro) Valor U: 1.18 W/m² K
Valor U Cubierta	Hotel / Oficina/ Hospital (TODO), Centros Comerciales (MED)	Conc Ref HW + Membrana a prueba agua (exterior)

Cálido seco	Área construcción (m²)	No. Pisos arriba suelo	No. Pisos abajo suelo	Àrea piso (m²)	Dimensión en m	Altura Piso (m)	Relación Aspecto	Orientación
Oficina	8000	6	2	1000	44x22	3.5	1x2	Occidental

Cálido seco	Relación Ventana a Pared (RVP)	Sombra Horizontal (VSA)	Sombra Vertical (HSA)	Valor U y SHGC	Valor U techo (W/m².K)	Valor U pared (W/ m².K)
Oficina	50%	90	90	5.91 & 0.78	1.49	0.95

Cálido seco	Grifería de agua	Tratamiento de aguas negras & reciclaje de agua para inodoros	Captura y reutilización de agua lluvia como agua potable	Riego por Goteo Eficiente para Jardines	Recuperación de agua de condensación	Manejo de agua lluvia & recarga de agua subterránea
Oficina	No	No	No	No	No	No

Cálido seco	Densidad de potencia de luz (W/m²)	Enfriamiento	Calefacción	Coeficiente de desempeño (COP)	Economizadores (W/m²)	Variadores de frecuencia (VSD) - Torre de Enfriamiento
Oficina	8.61	Si	No	2.8 - Tornillo Aire	No	No

Cálido seco	Tiempo operación - días en un año	Hrs de operación Días Hábiles	Hrs de operación Fines de Semana
Oficina	243	7am-8pm	Festivo

Figura 22. *Especificación de la línea base del edificio de oficinas.*
Fuente: *Documento técnico de soporte – Resolución 0549, 2015.*

VERSIÓN BO

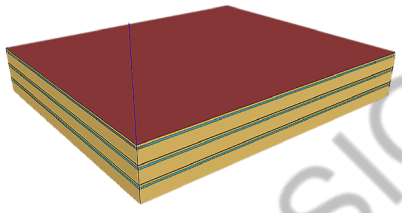
Edificio Comercial

Edificio de 4 pisos sobre el suelo y 3 sótanos de 6351m² por piso, con un aspecto en planta de 1:1,2m; orientado con las fachadas más largas al este-oeste. con una relación ventana a pared del 10%.

- Ventana corrida de tipología corrediza; las cuales poseen un valor U es 5,91 W/m²K y SHGC (ganancia solar en vidrio) de 0,78.
- Fachadas con un valor U de 1,8 W/m²K construidas en panel composite formado por dos láminas de cubierta de aluminio y un núcleo relleno de agregado mineral (alucobond o similar) como acabado exterior sobre un muro en bloque de concreto hueco; con acabado interior en panel yeso.
- Finalmente, una cubierta de valor U 1,49 W/m²K; termo acústica en chapa metálica de 42mm con 62,5mm de poliuretano y 12,5mm de cielo en panel.

La figura 23 resume las características de la línea base de esta tipología edificatoria.

Comercio (DTS)



Cerramiento Edificio	Tipo Edificio	Especificación de Línea Base
Valor U pared	Centros Comerciales	Alucobond + Bloque Concreto Hueco + Yeso (Adentro) Valor U: 1.18 W/m² K
Valor U Cubierta	Centros Comerciales (BOG/ CALI/BAQ)	42 mm chapa metálica + 62.5 mm Poliuretano +12.5 mm cielo raso en Drywall o similar (adentro) U-value: xxxx 0.92

Cálido seco	Área construcción (m²)	No. Pisos arriba suelo	No. Pisos abajo suelo	Àrea piso (m²)	Dimensión en m	Altura Piso (m)	Relación Aspecto	Orientación
Centro Comercial	45000	4	3	6429	87x73	4.5	1x1.2	Occidental

Cálido seco	Relación Ventana a Pared (RVP)	Sombra Horizontal (VSA)	Sombra Vertical (HSA)	Valor U y SHGC	Valor U techo (W/m².K)	Valor U pared (W/ m².K)
Centro Comercial	10%	90	90	5.91 & 0.78	1.49	1.8

Cálido seco	Grifería de agua	Tratamiento de aguas negras & reciclaje de agua para inodoros	Captura y reutilización de agua lluvia como agua potable	Riego por Goteo Eficiente para Jardines	Recuperación de agua de condensación	Manejo de agua lluvia & recarga de agua subterránea
Centro Comercial	No	No	No	No	No	No

Cálido seco	Densidad de potencia de luz (W/m²)	Enfriamiento	Calefacción	Coeficiente de desempeño (COP)	Economizadores (W/m²)	Variadores de frecuencia (VSD) - Torre de Enfriamiento
Centro Comercial	13.86	Si	No	5.5 - Centrífugo Agua	No	No

Cálido seco	Tiempo operación - días en un año	Hrs de operación Días Hábiles	Hrs de operación Fines de Semana
Centro Comercial	365	8am-10pm	8am-10pm

Figura 23. *Especificación de la línea base del edificio de Comercio.*
Fuente: *Documento técnico de soporte - Resolución 0549, 2015.*

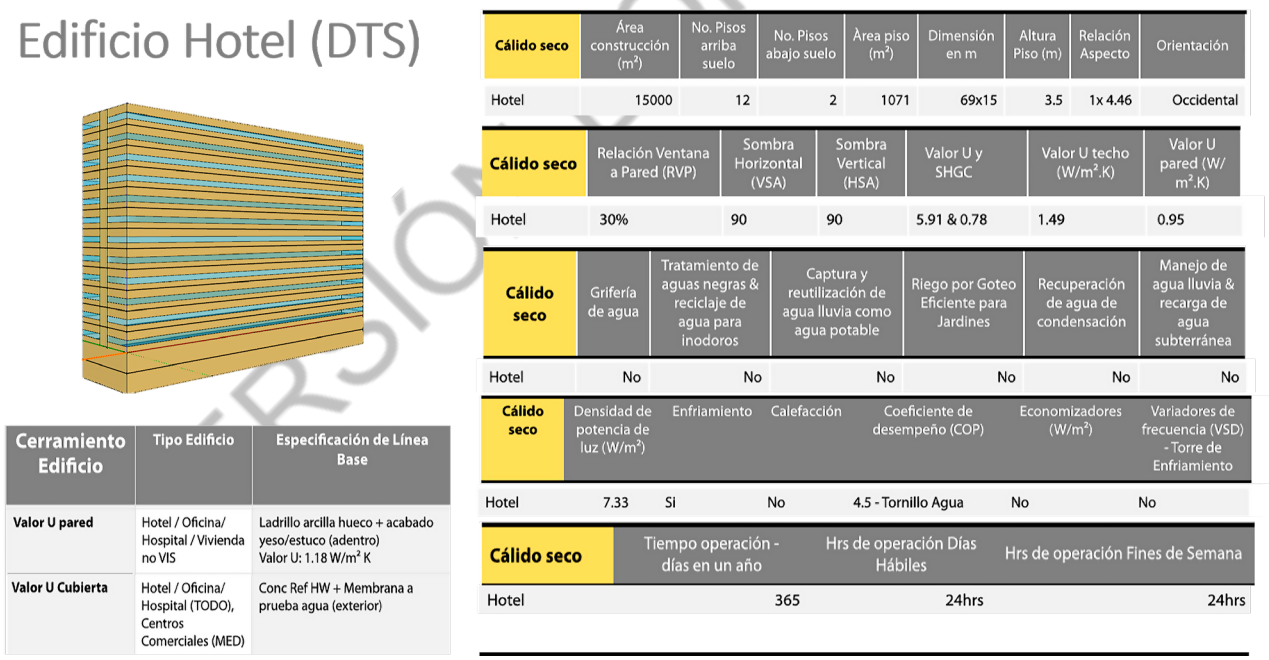
VERSIÓN BORRADOR

Hotel

Edificio de 12 pisos sobre el suelo y 2 sótanos, con plantas de 1035m² por piso en una relación de aspecto de 1:4,46; orientado con las fachadas más largas al este-oeste. con una relación ventana a pared del 30%.

- Ventana de tipología corrediza; las cuales poseen un valor U es 5,91 W/m²K y SHGC (ganancia solar en vidrio) de 0,78.
- Un valor U en fachadas de 0,95 W/m²K construido en ladrillo de arcilla hueco con acabado en panel yeso o estuco al interior,
- Finalmente, una cubierta de valor U de 1,49 W/m²K en concreto reforzado con membrana de impermeabilización.

La figura 24 resume las características de la línea base de esta tipología edificatoria.



Cerramiento Edificio	Tipo Edificio	Especificación de Línea Base
Valor U pared	Hotel / Oficina/ Hospital / Vivienda no VIS	Ladrillo arcilla hueco + acabado yeso/estuco (adentro) Valor U: 1.18 W/m² K
Valor U Cubierta	Hotel / Oficina/ Hospital (TODO), Centros Comerciales (MED)	Conc Ref HW + Membrana a prueba agua (exterior)

Cálido seco	Área construcción (m²)	No. Pisos arriba suelo	No. Pisos abajo suelo	Àrea piso (m²)	Dimensión en m	Altura Piso (m)	Relación Aspecto	Orientación
Hotel	15000	12	2	1071	69x15	3.5	1x 4.46	Occidental

Cálido seco	Relación Ventana a Pared (RVP)	Sombra Horizontal (VSA)	Sombra Vertical (HSA)	Valor U y SHGC	Valor U techo (W/m².K)	Valor U pared (W/m².K)
Hotel	30%	90	90	5.91 & 0.78	1.49	0.95

Cálido seco	Grifería de agua	Tratamiento de aguas negras & reciclaje de agua para inodoros	Captura y reutilización de agua lluvia como agua potable	Riego por Goteo Eficiente para Jardines	Recuperación de agua de condensación	Manejo de agua lluvia & recarga de agua subterránea
Hotel	No	No	No	No	No	No

Cálido seco	Densidad de potencia de luz (W/m²)	Enfriamiento	Calefacción	Coeficiente de desempeño (COP)	Economizadores (W/m²)	Variadores de frecuencia (VSD) - Torre de Enfriamiento
Hotel	7.33	Si	No	4.5 - Tornillo Agua	No	No

Cálido seco	Tiempo operación - días en un año	Hrs de operación Días Hábiles	Hrs de operación Fines de Semana
Hotel	365	24hrs	24hrs

Figura 24. *Especificación de la línea base, edificio Hotel.*
Fuente: *Documento técnico de soporte – Resolución 0549, 2015.*

VERSIÓN BORRADOR

Hospital

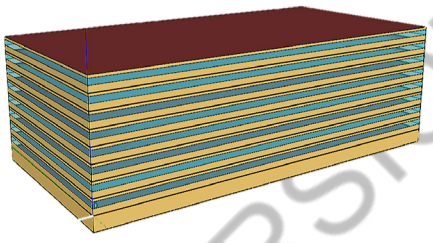
Edificio de 8 pisos sobre el nivel del suelo y un sótano, con un área por piso de 2178m² en una relación de aspecto en su planta de 1:1.5 con orientación a sus fachadas más largas hacia el este y el oeste; con una relación ventana a pared del 40%.

- Ventana de tipología corrediza; las cuales poseen un valor U es 5.91 W/m²K y SHGC (ganancia solar en vidrio) de 0.78.
- Fachadas con valor U de 0.95 W/m²K construida en ladrillo de arcilla hueco con acabado en panel yeso o estuco al interior.
- Finalmente, una cubierta de valor U de 1.49 W/m²K en concreto reforzado con membrana de impermeabilización.

La figura 25 resume las características de la línea base de esta tipología edificatoria.

VERSIÓN BORRADOR

Hospital (DTS)



Cerramiento Edificio	Tipo Edificio	Especificación de Línea Base
Valor U pared	Hotel / Oficina/ Hospital / Vivienda no VIS	Ladrillo arcilla hueco + acabado yeso/estuco (adentro) Valor U: 1.18 W/m² K
Valor U Cubierta	Hotel / Oficina/ Hospital (TODO), Centros Comerciales (MED)	Conc Ref HW + Membrana a prueba agua (exterior)

Cálido seco	Área construcción (m²)	No. Pisos arriba suelo	No. Pisos abajo suelo	Àrea piso (m²)	Dimensión en m	Altura Piso (m)	Relación Aspecto	Orientación
Hospital	20000	8	1	2222	66x33	2.4	1x1.5	Occidental

Cálido seco	Relación Ventana a Pared (RVP)	Sombra Horizontal (VSA)	Sombra Vertical (HSA)	Valor U y SHGC	Valor U techo (W/m².K)	Valor U pared (W/m².K)
Hospital	40%	90	90	5.91 & 0.78	1.49	0.95

Cálido seco	Grifería de agua	Tratamiento de aguas negras & reciclaje de agua para inodoros	Captura y reutilización de agua lluvia como agua potable	Riego por Goteo Eficiente para Jardines	Recuperación de agua de condensación	Manejo de agua lluvia & recarga de agua subterránea
Hospital	No	No	No	No	No	No

Cálido seco	Densidad de potencia de luz (W/m²)	Enfriamiento	Calefacción	Coeficiente de desempeño (COP)	Economizadores (W/m²)	Variadores de frecuencia (VSD) - Torre de Enfriamiento
Hospital	5.87	Si	No	4.5 - Centrífugo Agua	No	No

Cálido seco	Tiempo operación - días en un año	Hrs de operación Días Hábiles	Hrs de operación Fines de Semana
Hospital	365	24hrs	24hrs

Figura 25. *Especificación de la línea base, edificio Hospital.*
Fuente: *Documento técnico de soporte – Resolución 0549, 2015.*

Obtención y análisis de datos

Información climática

Los datos climáticos constituyen uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta a la hora de obtener el comportamiento energético, por lo que generan mayor variabilidad en los resultados. Una información más amplia sobre la generación de los archivos climáticos con extensión Epw cargado en el software Openstudio para las simulaciones aquí realizadas se encuentra en el Capítulo 1 del Tomo I, Urbanismo Sostenible del presente Manual.

Además, reconocer la influencia del clima en la edificación permite definir con mayor precisión los comportamientos esperados del futuro edificio, de modo que las estrategias que se adopten en este sean las más acertadas.

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad de cada medida pasiva se realizó obteniendo las temperaturas operativas anuales arrojadas por la simulación de la línea base y los modelos mejorados con la implementación de las estrategias. Posteriormente se realizó una clasificación para obtener la cantidad de horas dentro y fuera del rango de confort térmico, cabe recordar, que de acuerdo con la figura 4 y la tabla 1 del presente capítulo, el índice de aceptabilidad de confort térmico del 80% admite un rango de temperaturas operativas entre 22°C y 29°C en los climas cálido semiárido y subhúmedo de Cali. Los datos de temperatura operativa anuales son extraídos de la simulación por medio del complemento Dview de Openstudio para luego ser procesados en hojas de cálculo de Excel. Después, utilizando relaciones proporcionales se calcularon los porcentajes anuales de: horas en insatisfacción térmica y reducción de horas en insatisfacción. Parámetros con los cuales se comparó y evaluó el impacto de cada estrategia.

Un esquema del flujo de trabajo en esta parte del análisis se muestra en la figura 26.

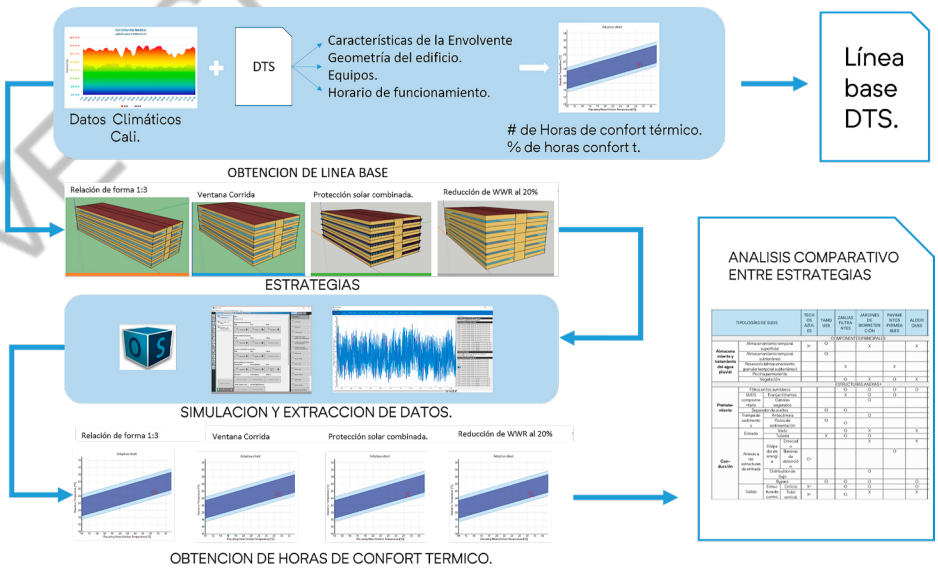


Figura 26. *Flujo de trabajo para la obtención de las respectivas líneas base de la temperatura operativa y posterior análisis de sensibilidad.* ***Fuente:*** *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

1.6.

Condiciones simuladas

VERSIÓN BORRADOR

Orientación y forma del edificio

Para la simulación se giró la línea base 90 grados de su posición inicial, cambiando de tener las fachadas con mayor área orientadas al este y al oeste por norte y sur, como se indica en la figura 27.

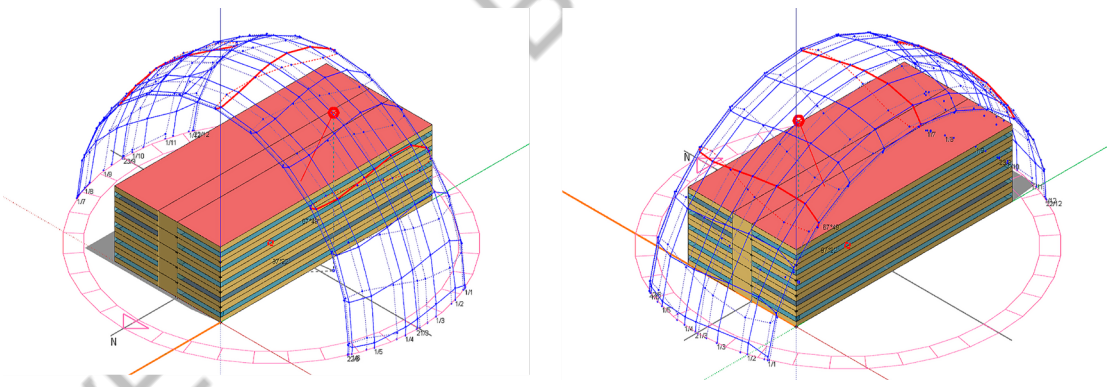


Figura 27. *Cambio de orientación del edificio y afectación solar, con la aplicación de Openstudio.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Protección solar en vanos

Cada modelo geométrico de la línea base se complementa con protección solar; a los vanos de las fachadas este y oeste con elementos horizontales capaces de sombrear un ángulo vertical de 45° (VSA).

Los vanos de las fachadas norte y sur se protegieron con una combinación de elementos horizontales y verticales: los horizontales con capacidad de sombrear un ángulo vertical de 70° y los verticales con capacidad de sombrear un ángulo horizontal de 60° (HSA), como se indica en la figura 28.

Se tomaron tanto los datos iniciales de la línea base como la cantidad anual de horas por fuera del rango de confort térmico (temperatura operativa 22°C a 29°C – modelo adaptativo) y porcentaje anual de horas en insatisfacción y se compararon con los datos que brindaba la protección solar.

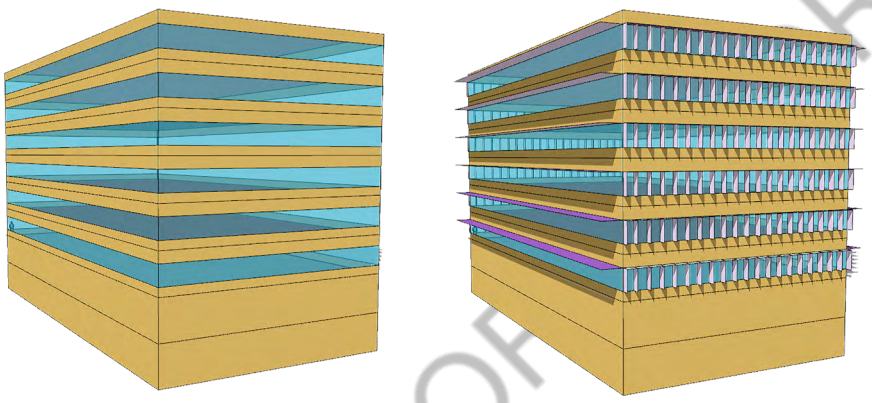


Figura 28. *Implementación geométrica de la protección solar en vanos versus la línea base.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

Relación ventana pared

Para la medición de esta estrategia se ha cambiado la línea base con diferentes relaciones ventana pared (RVP) en el 40, 30% y 20% comparando la línea base como se ve en la figura 29 con los modelos ajustados en referencia a la cantidad anual de horas por fuera del rango de confort térmico (temperatura operativa 22°C a 29°C – modelo adaptativo) y porcentaje anual de horas en insatisfacción.

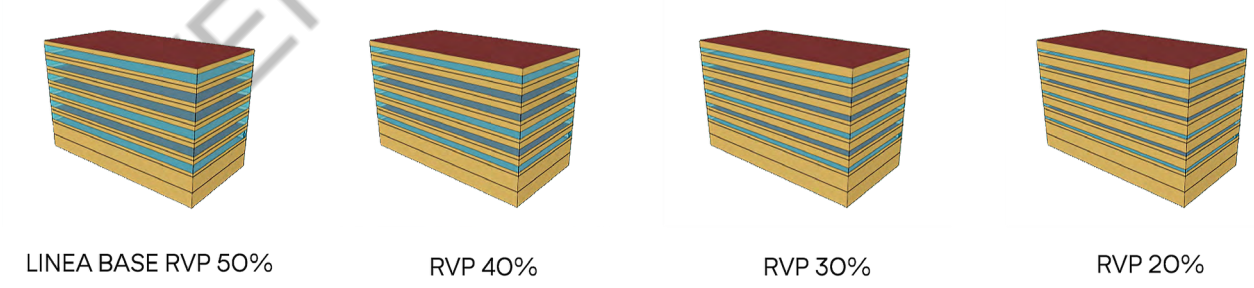


Figura 29. *Cambios en la fachada de acuerdo a cada relación ventana pared (RVP).*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Geometría de las ventanas

Se estableció como línea base la ventana corrida o en cinta, versus una relación de aspecto de esa misma área de acristalamiento en una forma 1:1 y 1:2, lo cual se explica de manera gráfica en la figura 30.

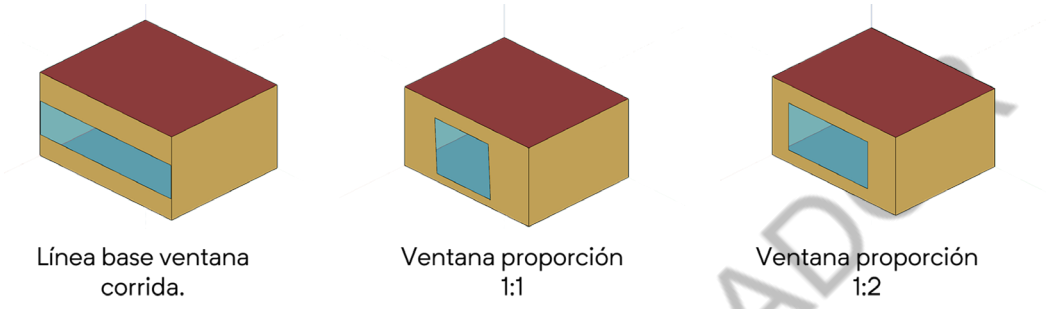


Figura30. *Cambio en la forma de las ventanas aplicadas al modelo.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Ventilación cruzada

Openstudio contiene una librería (building component library) que incluye las medidas o algoritmos que permiten hacer ajustes de forma paramétrica a nuestro modelo, la medida usada para calibrar el modelo con ventilación natural cruzada fue Add Wind and Stack Open Area disponible en el link *https://bcl.nrel.gov/node/82785.*

Esta medida modela la ventilación natural de las zonas térmicas con ventanas operables.

La tabla 4 indica la configuración que ha sido usada para todos los modelos que se evaluaron para calcular el impacto en el confort térmico de la ventilación natural.

OPENSTUDIO BCL: Agregar área abierta de viento (Ad Wind and Stack Open Area)				
Nombre	**Descripción**	**Unidades**	**Valor por defecto**	**Valor asignado**
Construcción	(Dejar en blanco para aplicar a todas las ventanas)	-	-	O. ventanas_vis
Open_area_ fraction_schedule	Una ventana operativa típica no se abre completamente. El área de apertura real en una zona es el producto del área de ventanas operables y el programa de fracción de área abierta. 50% abierto por defecto.	(horarios) schedule	Predeterminado 0.5 Open Fractional Schedule	O.horario de apertura ventanas.
Min_indoor_temp	La temperatura interior por debajo de la cual se cierra la ventilación.	(grados C)	21,67	16

VERSIÓN BORRADOR

OPENSTUDIO BCL: Agregar área abierta de viento (Ad Wind and Stack Open Area)				
Nombre	**Descripción**	**Unidades**	**Valor por defecto**	**Valor asignado**
Min_indoor_ temp_schedule	La temperatura interior por debajo de la cual se cierra la ventilación. Si se especifica, se utilizará en lugar del campo Temperatura interior mínima anterior.	-	N/A	N/A
Max_indoor_temp	La temperatura interior por encima de la cual se cierra la ventilación.	(grados C)	40	40
Delta_temp_ schedule	Ésta es la diferencia de temperatura entre las temperaturas del bulbo seco del aire interior y exterior por debajo de las cuales se cierra la ventilación. Si se especifíca, se utilizará en lugar del campo Diferencia máxima de temperatura interior– exterior anterior.	(grados C)	N/A	N/A
Min_outdoor_temp	La temperatura exterior por debajo de la cual se apaga la ventilación.	(grados C)	18,3333	16
Min_outdoors_ temp_schedule	La temperatura exterior por debajo de la cual se apaga la ventilación. Si se especifica se utilizará en lugar del campo Temperatura exterior mínima anterior.	-	N/A	N/A
Max_ourdoor_temp	La temperatura exterior por encima de la cual se apaga la ventilación.	(grados C)	25,5556	35
Max_ourdoor_temp_ schedule	La temperatura exterior por encima de la cual se apaga la ventilación. Si se especifica, se utilizará en lugar del campo Temperatura exterior máxima anterior.	-	N/A	N/A
Max_wind_speed	Esta es la velocidad del viento por encima de la cual se apaga la ventilación. Los valores predeterminados asumen que las ventanas están cerradas cuando el viento está por encima de una brisa suave para evitar soplar papeles en el espacio.	(m /s)	5.4	2

Tabla 4. *Datos de entrada para el bcl ADD WIND AND STACK OPEN AREA.*
Fuente: *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*

Valor U de la envolvente vertical

Para medir la afectación del valor U en los muros de fachada se modelaron 3 situaciones, la primera en donde el valor U fuera de 0,5 W/m²K, la segunda de 1,0 W/m²K y la tercera 2,0 W/m²K. posteriormente se realizó la comparación al igual que en las estrategias anteriores de la cantidad anual de horas por fuera del rango de confort térmico (temperatura operativa 22°C a 29°C - modelo adaptativo) y porcentaje anual de horas en insatisfacción. A continuación, en la tabla 5 están las configuraciones usadas en la simulación para alcanzar los valores U mencionados.

VERSIÓN BORRADOR

CONFIGURACIÓN DE LOS MATERIALES EN LOS MODELOS DE SIMULACIÓN ENVOLVENTE VERTICAL					
Modelo	**Capa**	**Espesor (m)**	**Conductividad térmica (W/mk)**	**Densidad (kg/m³)**	**Calor específico (J/kgk)**
Muro valor R=0,5 W/m²K	Aislamiento térmico SATE				
	Revoque	0,01	0,431	1250	1088
	Armadura	0,001	0,015	200	N/A
	Mortero adhesivo	0,005	0,187	1400	0,929
	Aislamiento térmico	0,025	0,049	20	0,38
	Mortero adhesivo	0,005	0,187	1400	0,929
	Mamposteria				
Muro Valor R=1,0 W/m²K	Mampostería	0,11	0,71	2000	836,8
	Fibra mineral	0,25	0,05	40	0,8
	Mampostería	0,11	0,71	2000	836,8
	Revoque	0,01	0,431	1250	1088
Muro Valor R=2,0 W/m²K	Mampostería E.	0,12	0,71	2000	836,8
	Aire en calma	0,2	0,02	1,1197	1,012
	Placa de board	0,127	0,057	753	1000

Tabla 5. *Características de la envolvente vertical aplicadas a la simulación.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Valor U de la cubierta

Para medir la sensibilidad del valor U en la cubierta se modelaron 3 situaciones, la primera en donde el valor U fuera de 0,5 W/m2K, la segunda de 1,0 W/m²K y la tercera 2,0 W/m²K. posteriormente se realizó la comparación al igual que en las estrategias anteriores de la cantidad anual de horas por fuera del rango de confort térmico (temperatura operativa 22°C a 29°C – modelo adaptativo) y porcentaje anual de horas en insatisfacción. a continuación, en la tabla 6 están las configuraciones usadas en la simulación para alcanzar los valores U mencionados.

VERSIÓN BORRADOR

CONFIGURACIÓN DE LOS MATERIALES EN LOS MODELOS DE SIMULACIÓN ENVOLVENTE HORIZONTAL					
Modelo	**Capa**	**Espesor (m)**	**Conductividad térmica (W/mk)**	**Densidad (kg/m³)**	**Calor específico (J/kgk)**
Cubierta Valor R=0,5 W/m²K	Cobertura vegetal	0,15	0,25	582	1000
	Sustrato tierra negra	0,1	1,00	1500	2000
	Filtro	0,05	0,22	1800	910
	Bandeja PVC	0,002	0,16	1380	1000
	Membrana asfáltica	0,01	0,50	1700	1,00
	Pendiente mortero	0,05	0,19	1400	0,929
	Losa concreto reforzado	150	1,63	2300	920
Cubierta Valor R=1,0 W/m²K	Membrana asfáltica + folil de aluminio	0,01	0,50	1700	1,00
	Pendiente mortero	0,05	0,19	1400	0,929
	Losa concreto reforzado	150	1,63	2300	836,8
Cubierta Valor R=2,0 W/m²K	Teja fibrocemento gris	0,08	0,23	1,25	840
	Aire en calma	0,5	0,02	1,1197	1,012
	Placa de board	0,127	0,057	753	1000

Tabla 6. *Características de la envolvente horizontal aplicadas a la simulación.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Reflectividad de la envolvente vertical

Con el fin de apreciar con mayor detalle la afectación de esta estrategia sobre la línea base, esta se ha asumido con una reflectancia del 10% y se compara obteniendo la cantidad anual de horas por fuera del rango de confort térmico (temperatura operativa 22°C a 29°C – modelo adaptativo) y porcentaje anual de horas en insatisfacción.

En la tabla 7 se observan los índices de reflectividad en los materiales usados como en la simulación, acompañados de la temperatura superficial y el índice de reflectancia solar correspondiente. se observa que superficies como el aluminio pulido tienen la capacidad de reflejar el 90% de la radiación que recibe, en cambio un material con el color de la cerámica de arcilla refleja tan solo el 7%.

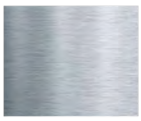
REFLECTIVIDAD POR MATERIALES	IMAGEN	COLOR	TS	IRS
REFLECTIVIDAD 7% COLOR LADRILLO		Beige.	55	64
REFLECTIVIDAD 37% COLOR CONCRETO		Gris.	45	85
REFLECTIVIDAD 51% COLOR OCRE		Ocre.	55	57
REFLECTIVIDAD 76% COLOR BLANCO		Blanco.	45,5	92
REFLECTIVIDAD 90% ALUMINIO PULIDO		Aluminio.	60	50

Tabla 7. *Reflectividad de los materiales simulados en envolvente vertical y horizontal, en donde TS es temperatura de superficie e IRS es ell Índice de Reflectancia Solar.*
Fuente: *valores tomados de Alchapar, N., Correa, E. (2015)*

VERSIÓN PRELIMINAR

1.7.

Resultados

VERSIÓN BORRADOR

Vivienda VIS

La vivienda de interés social (VIS) y la vivienda de interés prioritario (VIP) en su línea base arrojaron 1987 horas al año por fuera de los rangos admisibles de satisfacción térmica equivalente al 22,68% anual.

En la línea base solo se encontraron temperaturas superiores a los 29°C y nunca por debajo de los 22°C.

Con la implementación de la estrategia de orientar el edificio con sus fachadas más largas al norte y al sur, las horas de insatisfacción se redujeron a 1781, es decir, el 20,33% anual.

Con la estrategia de RVP no hubo posibilidad de mejorar el confort debido a que el incremento de la RVP de 31% también incrementó las horas de insatisfacción y su reducción implicó un detrimento de la ventilación natural, la relación visual y la iluminación natural.

Por su parte, las estrategias denominada geometría y posición de ventanas, no arrojó resultados positivos o negativos en el confort térmico.

En contraste, la protección solar y la ventilación cruzada tuvieron un notable impacto positivo. La protección solar redujo a tan solo 739 las horas de incomodidad, es decir, tan solo un 8,34% anual. Mientras que la ventilación cruzada redujo las horas de insatisfacción a 925, equivalente al 10,56% anual.

Reducir el valor U de la envolvente vertical, redujo las horas de incomodidad térmica a 1917 o 21,88% anual.

Intervenir la cubierta reduciendo su valor U o aumentando su reflectividad, no tuvo cambios en el mejoramiento del ambiente térmico promedio del edificio. Sin embargo, en el último piso se presentó que, de 2985 horas de insatisfacción anual, se pasó a 1998 horas implementando la estrategia de reducir el valor U. Y con el aumento de la reflectividad se redujeron a 1997.

Aumentar la reflectividad de la envolvente vertical, redujo la cantidad de horas en insatisfacción térmica a 1950, o lo que es igual al 22,26% anual.

A continuación, en la tabla 8 y figura 31 se compara el porcentaje de satisfacción térmica obtenido por estrategia con el de la línea base. Se destaca el desempeño de dos estrategias: la protección solar y la ventilación cruzada con un 91% y 89% de horas en comodidad térmica al año frente al 22% de la línea base.

CONFORT TERMICO: Vivienda de Interes Social (VIS)					
	Nombre.	**Puntaje.**	**Horas por fuera del rango de confort.**	**Porcentaje anual horas insatisfechas.**	**Descripcion.**
	Línea Base VIS Multifamiliar (Según Modelo Reglamento 0549 DTS)	N/A	1987	22,68%	Edificio de 5 pisos con un aspeto 1:2, relación ventana pared del 31%. Orientado con las fachadas más largas al este-oeste. Valor U en fachadas de 1.21 W/m2K y valor U de cubierta de 0.5 W/m2K . Fachadas en bloque estructural de concreto + 6cm de poliestireno recubierto con placa de fibrocemento de 1cm) y cubierta de concreto maciso de 14cm. La tipología de ventanas es corrediza
1	Orientacion del Edificio	6	1781	20,33%	Orientar el edificio con sus fachadas largas al Norte y al Sur.
2	Relación Ventana Pared WWR 30%	3	1987	22,68%	Las ventanas transmiten calor hacía el interior a una tasa mayor que las paredes. Por tanto, un edifcio con RVP mayor ganará más calor que un edifcio con un RVP menor. Una RVP entre el 30% Y EL 40% es lo recomendable para la mayoria de tipologias.
	Relación Ventana Pared WWR 40%		2219	25,33%	
3	Geometria y posicion ventanas.	5	1987	22,68%	La geometría y posición de las ventanas, determina el ingreso de radiación incidiendo directamente en el desempeño térmico. En este caso la línea base original con "ventanas tipo cinta" obtuvo el mejor desempeño.
4	Proteccion Solar en Vanos.	27	739	8,44%	Protección solar a los vanos de las fachadas este y oeste con elementos horizontales capaces de sombrear un ángulo vertical de 45° (VSA) y en los vanos de las fachadas norte y sur con una combinación de elementos horizontales y verticales. Los horizontales con capacidad de sombrear un ángulo vertical de 70° y los verticales con capacidad de sombrear un ángulo horizontal de 60° (HSA)
5	Ventilacion Cruzada.	22	925	10,56%	Ubicación de ventanas operables hacia la servidumbre del edificio que garanticen la circulacion de aire.
6	Bajo Valor U envolvente Vertical.	2	1917	21,88%	La disminución del valor U en la envolvente vertical reduce el paso del calor al interior de los espacios. En este caso se ha simulado con un valor U de 0.5 W/m²·K con poco resultado.
7	Bajo Valor U envolvente Horizontal.	5	1998	22,81%	Reducir el valor U de la cubierta reduce también el paso del calor al interior de los espacio. En este caso, una reduccion del valor U de 0.5 W/m2°K, sin efectos.
8	Alta reflectividad en envolvente vertical.	0	1950	22,26%	Tener una envolvente vertical con una superficie de alta reflectividad reduce el ingreso de calor. En este caso el modelo fue simulado con 0,76 de indice de reflectancia, sin cambios significativos.
9	Alta reflectividad en envolvente Horizontal.	0	1987	22,68%	Tener una envolvente horizontal con una superficie de alta reflectividad reduce el ingreso de calor. En este caso el modelo fue simulado con 0,90 de indice de reflectancia, sin cambios en el confort termico.

Tabla 8 . *Resultados de las estrategias en el modelo VIS*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

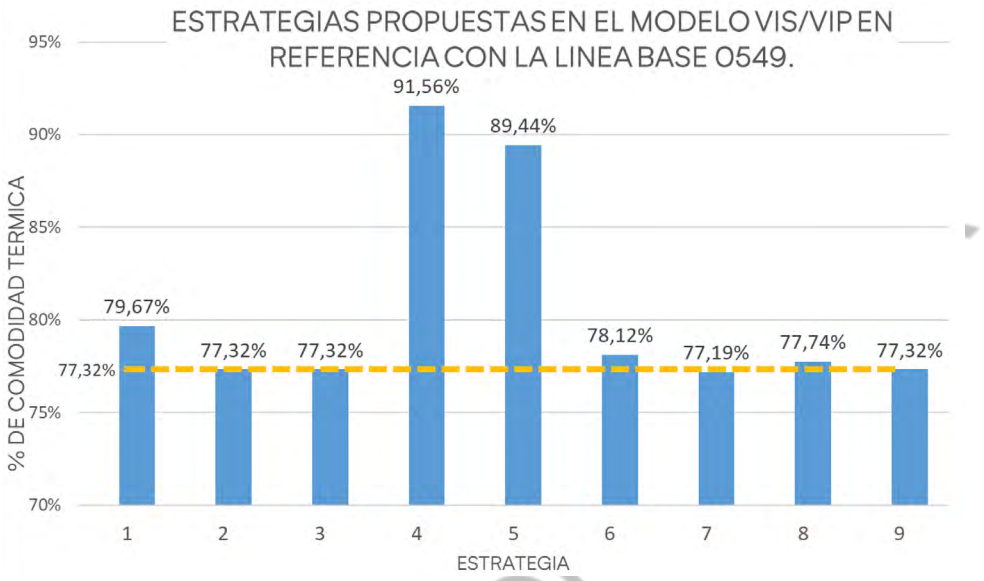


Figura 31 . *Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas versus la línea base del modelo VIS.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BO

Edificio Oficinas

La tipología de edificio de oficinas en su línea base presenta 6599 horas al año por fuera de los rangos admisibles de satisfacción térmica, o lo que es igual al 75,33% anual, presentando temperaturas operativas por fuera del rango de confort, por encima de los 29°C.

Orientar el edificio con sus fachadas más largas al norte y al sur, redujo a 5765 las horas de incomodidad térmica, lo que equivale al 65,81% anual.

Cambiar la RVP de 50% a 40% disminuyó a 5795 las horas de insatisfacción, o lo que es igual al 66,15% anual.

La implementación de la estrategia denominada: geometría y posición de ventanas, no arrojó cambios; a diferencia de la protección solar en vanos que redujo a 1987 las horas de insatisfacción equivalente al 22,68% anual. De la misma forma, incorporar ventilación cruzada redujo las horas de insatisfacción a 1666, equivalente al 19,02% anual.

Reducir el valor U o aumentar la reflectividad de la envolvente vertical no arrojó cambios positivos en el confort térmico. Esto se debe a la poca área vertical opaca y grandes superficies vidriadas en la envolvente vertical de esta tipología.

En comparación, disminuir el valor U de la envolvente horizontal disminuyó a 4755 las horas de insatisfacción equivalentes al 54,28% anual; y aumentar la reflectividad de la cubierta demostró reducir al 29,17% o 2555 las horas de satisfacción térmica.

A continuación, en la tabla 9 y figura 32 se compara el porcentaje de satisfacción térmica por estrategia con el de la línea base. Mientras que la línea base sólo alcanzó el 24,77% de horas en satisfacción, la estrategia de protección solar obtuvo un 87%, seguida por la estrategia de ventilación cruzada con 80,98%.

La tipología de oficinas está representada en un edificio de 6 pisos en donde cualquier cambio sobre las características de su cubierta repercute sobre el confort en el resto del edificio de ahí que las medidas como la aumentar la reflectividad o disminuir la transmitancia térmica de la misma reportan un aumento de las horas de comodidad térmica.

CONFORT TERMICO: Edificio Oficina.					
	Nombre.	Puntaje.	Horas por fuera del rango de confort.	Porcentaje anual horas insatisfechas.	Descripcion.
	Línea Base Edificio Oficina (Según Modelo Reglamento 0549 DTS)	N/A	6599	75,33%	Edificio de 6 pisos con 2 sótanos por debajo del nivel del suelo y un área construida de 968m2 por piso, con un aspecto en planta de 1:2, relación ventana pared del 50%. Orientado con las fachadas más largas al este-oeste. Un valor U en fachadas de 0.95 W/m2K y valor U de cubierta de 1.49 W/m2K. La tipología de ventanas es corrediza.
1	Orientacion del Edificio	6	5765	65,81%	Orientar el edificio con sus fachadas largas al Norte y al Sur.
2	Relación Ventana Pared WWR 30%		4164	43,53%	Las ventanas transmiten calor hacía el interior a una tasa mayor que las paredes. Por tanto, un edifcio con RVP mayor ganará más calor que un edifcio con un RVP menor. En este caso se ha simulado con un RPV del 40%
	Relación Ventana Pared WWR 40%	3	5795	66,15%	
3	Geometria y posicion ventanas.	5	6599	75,33%	La geometría y posición de las ventanas, determina el ingreso de radiación incidiendo directamente en el desempeño térmico. En este caso la línea base original con "ventanas tipo cinta" obtuvo el mejor desempeño.
4	Proteccion Solar en Vanos.	27	1158	13,22%	Protección solar a los vanos de las fachadas este y oeste con elementos horizontales capaces de sombrear un ángulo vertical de 45° (VSA) y en los vanos de las fachadas norte y sur con una combinación de elementos horizontales y verticales. Los horizontales con capacidad de sombrear un ángulo vertical de 70° y los verticales con capacidad de sombrear un ángulo horizontal de 60° (HSA)
5	Ventilacion Cruzada.	22	1666	19,02%	Ubicación de ventanas operables hacia la servidumbre del edificio que garanticen la circulacion de aire.
6	Bajo Valor U envolvente Vertical.	2	6705	76,54%	La disminución del valor U en la envolvente vertical reduce el paso del calor al interior de los espacios. En este caso se ha simulado con un valor U de 0,5 W/m²·K aumentando el disconfort.
7	Bajo Valor U envolvente Horizontal.	5	4755	54,28%	Reducir el valor U de la cubierta reduce también el paso del calor al interior de los espacio. En este caso, una reduccion del valor U de 0.5 W/m2°K, con cambios positivos en la comodidad termica.
8	Alta reflectividad en envolvente vertical.	0	6804	77,67%	Tener una envolvente vertical con una superficie de alta reflectividad reduce el ingreso de calor. En este caso el modelo fue simulado con 0,76 de indice de reflectancia, con comportamiento negativo en el confort termico.
9	Alta reflectividad en envolvente Horizontal.	0	2555	29,17%	Tener una envolvente horizontal con una superficie de alta reflectividad reduce el ingreso de calor. En este caso el modelo fue simulado con 0,90 de indice de reflectancia, tiene cambios significativos en el confort termico.

Tabla 9 . *Resultados de las estrategias en el modelo Oficina.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

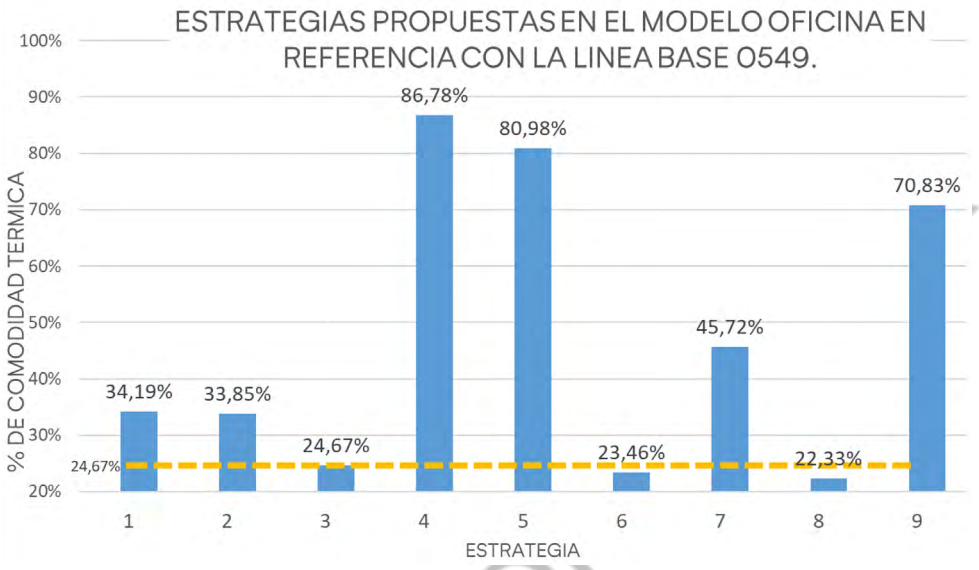


Figura 32 . *Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas versus la línea base del modelo Oficina.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSION BO

Edificio Comercial

La tipología de edificio de Comercio en su línea base presenta 41 horas al año por fuera de los rangos admisibles de satisfacción térmica, o lo que es igual el 0,46% del año, presentando solamente temperaturas operativas por encima de los 29°C.

Orientar el edificio con sus fachadas más largas al norte y al sur, redujo a 30 las horas de incomodidad térmica, lo que equivale al 0,34% del año.

Con la estrategia de RVP no hubo posibilidad de mejora debido a que al fijarlo en valores más bajos se incrementaron las horas de insatisfacción térmica debido a la reducción de la ventilación natural. Asimismo, esta acción impactó negativamente en la iluminación natural.

La estrategia determinada como geometría y posición de ventanas arrojó 2 horas o 0,02% del año sin confort térmico con una relación de aspecto 1:1. Sin embargo, la protección solar sobre estas ventanas llevó a 0% la incomodidad térmica anual.

La implementación de la estrategia de ventilación cruzada redujo las horas de insatisfacción a 0.

Reducir el valor U de la envolvente vertical, también produjo resultados satisfactorios reduciendo las horas de incomodidad térmica a 0%; mientras que bajar el valor U de la cubierta en este caso fue menos eficaz con un 0,11%, o lo que es igual a 10 horas de insatisfacción.

Aumentar la reflectividad de la envolvente vertical y horizontal también trae buenos resultados a nivel de estrategia con 0% de incomodidad térmica anual. A continuación, en la tabla 10 y figura 33, se muestra el porcentaje de satisfacción térmica por estrategia comparándola con el porcentaje de la línea base. La tipología de centro comercial dispone de múltiples caminos de mejora, esto se debe a su geometría y a su RPV del 20% que propicia poca ganancia térmica debido a su escaso acristalamiento.

CONFORT TERMICO: Edificio Comercio					
	Nombre.	**Puntaje.**	**Horas por fuera del rango de confort.**	**Porcentaje anual horas insatisfechas.**	**Descripcion.**
	Línea Base Edificio Comercio (Según Modelo Reglamento 0549 DTS)	N/A	41	0,46%	Edificio de 4 pisos sobre el suelo y 3 sótanos de 6351m2 por piso, con un aspecto en planta de 1:1.2m2, una relación ventana pared del 10% orientado con las fachadas más largas al este-oeste, La tipología de ventanas es corrediza.
1	Orientacion del Edificio	1	30	0,34%	Orientar el edificio con sus fachadas largas al Norte y al Sur.
2	Relación Ventana Pared WWR 10%		41	0,46%	Las ventanas transmiten calor hacía el interior a una tasa mayor que las paredes. Por tanto, un edifcio con RVP mayor ganará más calor que un edifcio con un RVP menor. Para este caso se mantiene el actual RVP del 10 %
	Relación Ventana Pared WWR 20%		659	7,52%	
	Relación Ventana Pared WWR 40%		3198	36,51%	
3	Geometria y posicion ventanas.	1	2	0,02%	La geometría y posición de las ventanas, determina el ingreso de radiación incidiendo directamente en el desempeño térmico. En este caso los indices de confort termico mas altos fue para la relacion de ventana 1:1.
4	Proteccion Solar en Vanos.	20	0	0,00%	Protección solar a los vanos de las fachadas este y oeste con elementos horizontales capaces de sombrear un ángulo vertical de 45° (VSA) y en los vanos de las fachadas norte y sur con una combinación de elementos horizontales y verticales. Los horizontales con capacidad de sombrear un ángulo vertical de 70° y los verticales con capacidad de sombrear un ángulo horizontal de 60° (HSA)
5	Ventilacion Cruzada.	1	0	0,00%	Ubicación de ventanas operables hacia la servidumbre del edificio que garanticen la circulacion de aire.
6	Bajo Valor U envolvente Vertical.	20	0	0,00%	La disminución del valor U en la envolvente vertical reduce el paso del calor al interior de los espacios. En este caso se ha simulado con un valor U de 0,5 W/m²·K aumentando positivamente las condiciones de confort termico.
7	Bajo Valor U envolvente Horizontal.	1	10	0,11%	Reducir el valor U de la cubierta reduce también el paso del calor al interior de los espacio, En este caso, el modelo ah sido simulado con un valor U igual o inferior 0.5 W/m2°K, obteniendo una respuesta positiva de comodidad termica.
8	Alta reflectividad en envolvente vertical.	13	0	0,00%	Tener una envolvente vertical con una superficie de alta reflectividad reduce el ingreso de calor. En este caso el modelo fue simulado con 0,76 de indice de reflectancia, con buenos resultados en el confort termico.
9	Alta reflectividad en envolvente Horizontal.	13	4	0,05%	Tener una envolvente horizontal con una superficie de alta reflectividad reduce el ingreso de calor. En este caso el modelo fue simulado con 0,90 de indice de reflectancia, el cual tiene cambios significativos en el confort termico.

Tabla 10. *Resultados de las estrategias en el modelo edificio Comercial.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

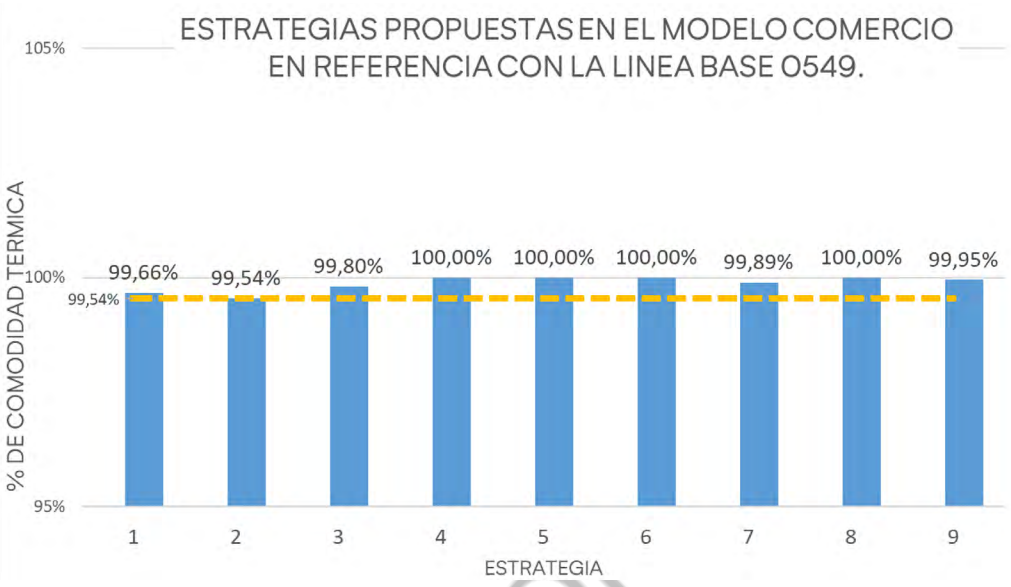


Figura 33. *Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas versus la línea base del modelo Comercio.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BO

Hospital

La línea base del edificio hospitalario presenta 4068 horas al año por fuera de los rangos admisibles de satisfacción térmica, lo que es igual al 46,44% del año, las temperaturas operativas de este periodo corresponden solamente a valores por encima de los 29°C.

Orientar el edificio con sus fachadas más largas al norte y sur redujo a 3443 las horas de insatisfacción térmica, equivalentes al 39,30% anual.

Con la estrategia de RVP no hubo posibilidad de mejorar el confort debido a que pasar de un RVP de 40% a valores menores implicó un detrimento de la ventilación natural, la relación visual y la iluminación natural.

La estrategia denominada: geometría y posición de ventanas disminuyó a 44,67% o 3913 las horas al año de incomodidad térmica. Por su parte, la protección solar sobre vanos redujo a tan solo 530 las horas de incomodidad, equivalentes al 6,05% anual.

La implementación de la estrategia de ventilación cruzada redujo las horas de insatisfacción a 3256, equivalentes al 37,17% anual.

Reducir el valor U de la envolvente vertical, redujo las horas de incomodidad térmica a 4027 horas o 45,97%; mientras que bajar el valor U de la cubierta no tuvo cambios en la comodidad térmica promedio del edificio, sin embargo, estos resultados no reflejan la situación del último piso, el cual pasó de tener 5873 horas de insatisfacción a 4608 con la implementación de esta estrategia.

Aumentar la reflectividad de la envolvente vertical disminuyó en 42,57% o 3729 horas al año la insatisfacción térmica. En lo que respecta a la estrategia de reflectividad de envolvente horizontal carece de beneficios en la comodidad térmica promedio del edificio; sin embargo, estos resultados no reflejan la situación del último piso, el cual pasó de tener 5873 horas de insatisfacción a 2614 con la implementación de esta estrategia. En la tabla 11 y figura 34, se compara el porcentaje de satisfacción térmica de la línea base con la implementación de cada estrategia. Nótese que en el caso del hospital la protección solar es clave con un porcentaje de satisfacción del 93%, de la misma forma la orientación del edificio demuestra un porcentaje del 61%. Aunque la ventilación mecánica debe conservarse por asepsia en muchos de los espacios de esta tipología, es recomendable el uso de ventilación cruzada en los espacios que no lo requieran debido a que, pudo disminuir a 3256 la cantidad de horas en insatisfacción térmica, equivalentes a un 37,17% anual.

CONFORT TERMICO: Edificio Hospital.

	Nombre.	Puntaje.	Horas por fuera del rango de confort.	Porcentaje anual horas insatisfechas.	Descripcion.
	Línea Base Edificio Hospital (Según Modelo Reglamento 0549 DTS)	N/A	4068	46,44%	Edificio de 8 pisos sobre el nivel del suelo y un sótano, con un área por piso de 2178m2 en una relación de aspecto en su planta de 1:1.5 con orientación a sus fachadas más largas había el este y el oeste; con una relación ventana a pared del 40%, La tipología de ventanas es corrediza.
1	Orientacion del Edificio	11	3443	39,30%	Orientar el edificio con sus fachadas largas al Norte y al Sur.
2	Relación Ventana Pared WWR 30%		2938	33,54%	Las ventanas transmiten calor hacía el interior a una tasa mayor que las paredes. Por tanto, un edifcio con RVP mayor ganará más calor que un edifcio con un RVP menor. En este caso se mantuvo el RVP base del 40%
	Relación Ventana Pared WWR 40%	0	4068	46,44%	
3	Geometria y posicion ventanas.	8	3913	44,67%	La geometría y posición de las ventanas, determina el ingreso de radiación incidiendo directamente en el desempeño térmico. En este caso los indices de confort termico mas altos fue para la relacion de ventana 1:1.
4	Proteccion Solar en Vanos.	30	530	6,05%	Protección solar a los vanos de las fachadas este y oeste con elementos horizontales capaces de sombrear un ángulo vertical de 45° (VSA) y en los vanos de las fachadas norte y sur con una combinación de elementos horizontales y verticales. Los horizontales con capacidad de sombrear un ángulo vertical de 70° y los verticales con capacidad de sombrear un ángulo horizontal de 60° (HSA)
5	Ventilacion Cruzada.	18	3256	37,17%	Ubicación de ventanas operables hacia la servidumbre del edificio que garanticen la circulacion de aire.
6	Bajo Valor U envolvente Vertical.	0	4027	45,97%	La disminución del valor U en la envolvente vertical reduce el paso del calor al interior de los espacios. En este caso se ha simulado con un valor U de 0,5 W/m²·K con poco resultado.
7	Bajo Valor U envolvente Horizontal.	0	4069	46,45%	Reducir el valor U de la cubierta reduce también el paso del calor al interior de los espacio, En este caso, una reduccion del valor U de 0.5 W/m2°K, sin efectos.
8	Alta reflectividad en envolvente vertical.	3	3729	42,57%	Tener una envolvente vertical con una superficie de alta reflectividad reduce el ingreso de calor. En este caso el modelo fue simulado con 0,76 de indice de reflectancia, otorga una mejora en el confort termico
9	Alta reflectividad en envolvente Horizontal.	0	4068	46,44%	Tener una envolvente horizontal con una superficie de alta reflectividad reduce el ingreso de calor. En este caso el modelo fue simulado con 0,90 de indice de reflectancia, no tiene cambios en el confort termico.

Tabla 11. *Resultados de las estrategias en el modelo Hospital.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

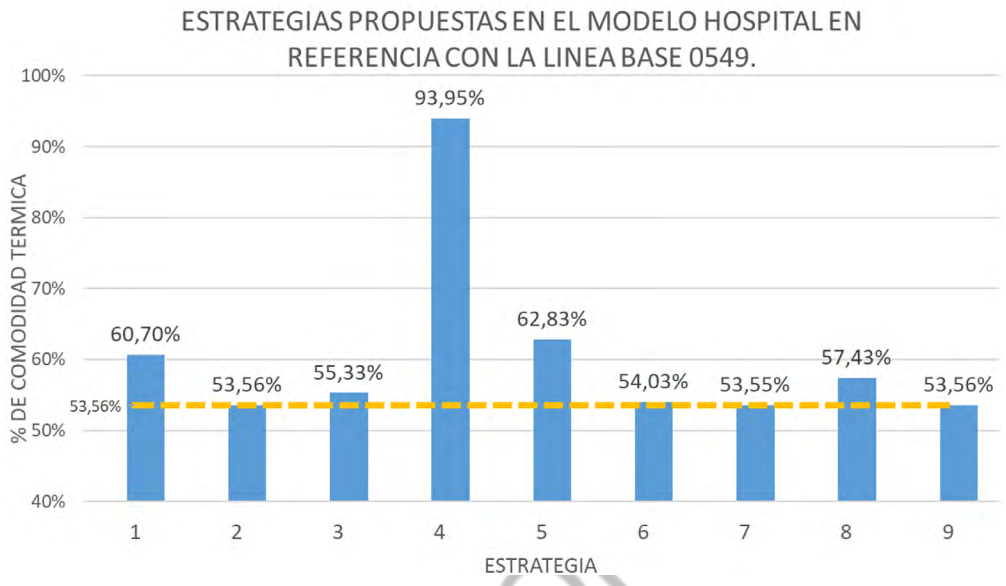


Figura 34. *Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas versus la línea base del modelo Hospital.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BO

Hotel

La tipología de edificio de Hotel en su línea base presenta 3996 horas al año por fuera de los rangos admisibles de satisfacción térmica, o lo que es igual al 45,62% del año, periodo en el cual se presentan temperaturas operativas solamente por encima de los 29°C.

Orientar el edificio con sus fachadas más largas al norte y al sur, redujo a 3 horas la incomodidad térmica, lo que equivale al 0,03% del año.

La estrategia de RVP no tuvo posibilidad de mejorar el confort debido a que pasar de un RVP de 30% a valores menores implicaría un detrimento de la ventilación natural, la relación visual e iluminación natural.

La estrategia de geometría y posición de ventanas disminuyó a 44,82% o 3926 horas al año la incomodidad térmica. Por su parte, la protección solar sobre vanos tuvo un impacto considerable reduciendo a tan solo 975 las horas de incomodidad es decir un 11,13% del año.

La implementación de la estrategia de ventilación cruzada redujo las horas de insatisfacción a 0%. Lo cual la califica como la aproximación más afectiva seguida de tener una buena orientación del edificio. Mejorar el valor U de la envolvente vertical, redujo las horas de incomodidad térmica a 3923 horas equivalentes al 44,78% anual; mientras que mejorar el valor U de la cubierta obtuvo valores similares en comodidad térmica, con tan solo 3994 horas de insatisfacción o 45,59% del año.

Aumentar la reflectividad de la envolvente vertical disminuyó a 3978 las horas de insatisfacción, lo cual es el 45,41% del año. La estrategia de elevar la reflectividad de envolvente horizontal no produjo resultados tan relevantes pues tuvo resultados similares a la línea base: 45,59% o lo que es igual a 3994 horas al año de insatisfacción térmica. En la tabla 12 y figura 35, se compara el porcentaje de satisfacción térmica de la línea base con el de implementar las estrategias bioclimáticas. Se aprecia que la ventilación cruzada al igual que la orientación del edificio obtuvieron rangos cercanos al 100% de horas de satisfacción térmica; de igual forma, la protección solar en vanos, demuestra también ser efectiva con un 88,87% de satisfacción térmica interior.

CONFORT TERMICO: Edificio Hotel.

	Nombre.	Puntaje.	Horas por fuera del rango de confort.	Porcentaje anual horas insatisfechas.	Descripcion.
	Línea Base Edificio Hotel (Según Modelo Reglamento 0549 DTS)	N/A	3996	45,62%	Edificio de 12 pisos sobre el suelo y 2 sótanos, con plantas de 1035m2 por piso en una relación de aspecto de 1:4.46, con una relación ventana pared del 30% y fachadas orientadas hacia el este y oeste, La tipología de ventanas es corrediza.
1	Orientacion del Edificio	22	3	0,03%	Orientar el edificio con sus fachadas largas al Norte y al Sur, al ser un edificio de tipologia "alargada" esta estrategia es bastante importante.
2	Relación Ventana Pared WWR 30%	5	3996	45,62%	Las ventanas transmiten calor hacía el interior a una tasa mayor que las paredes. Por tanto, un edifcio con RVP mayor ganará más calor que un edifcio con un RVP menor. Para este caso se mantiene el actual RVP del 30 %
	Relación Ventana Pared WWR 40%		5118	58,42%	
3	Geometria y posicion ventanas.	3	3926	44,82%	La geometría y posición de las ventanas, determina el ingreso de radiación incidiendo directamente en el desempeño térmico. En este caso los indices de confort termico mas altos fue para la relacion de ventana 1:1.
4	Proteccion Solar en Vanos.	15	975	11,13%	Protección solar a los vanos de las fachadas este y oeste con elementos horizontales capaces de sombrear un ángulo vertical de 45° (VSA) y en los vanos de las fachadas norte y sur con una combinación de elementos horizontales y verticales. Los horizontales con capacidad de sombrear un ángulo vertical de 70° y los verticales con capacidad de sombrear un ángulo horizontal de 60° (HSA)
5	Ventilacion Cruzada.	22	0	0,00%	Ubicación de ventanas operables hacia la servidumbre del edificio que garanticen la circulacion de aire.
6	Bajo Valor U envolvente Vertical.	3	3923	44,78%	La disminución del valor U en la envolvente vertical reduce el paso del calor al interior de los espacios. En este caso se ha simulado con un valor U de 0,5 W/m²·K con resultados positivos en la comodidad termica.
7	Bajo Valor U envolvente Horizontal.	0	3994	45,59%	Reducir el valor U de la cubierta reduce también el paso del calor al interior de los espacio, En este caso, una reduccion del valor U de 0.5 W/m2°K, tiene efectos positivos en el confort termico.
8	Alta reflectividad en envolvente vertical.	0	3978	45,41%	Tener una envolvente vertical con una superficie de alta reflectividad reduce el ingreso de calor. En este caso el modelo fue simulado con 0,76 de indice de reflectancia, otorga una mejora en el confort termico
9	Alta reflectividad en envolvente Horizontal.	0	3994	45,59%	Tener una envolvente horizontal con una superficie de alta reflectividad reduce el ingreso de calor. En este caso el modelo fue simulado con 0,90 de indice de reflectancia, tiene cambios positivos en el confort termico.

Tabla 12. *Resultados de las estrategias en el modelo Hotel.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

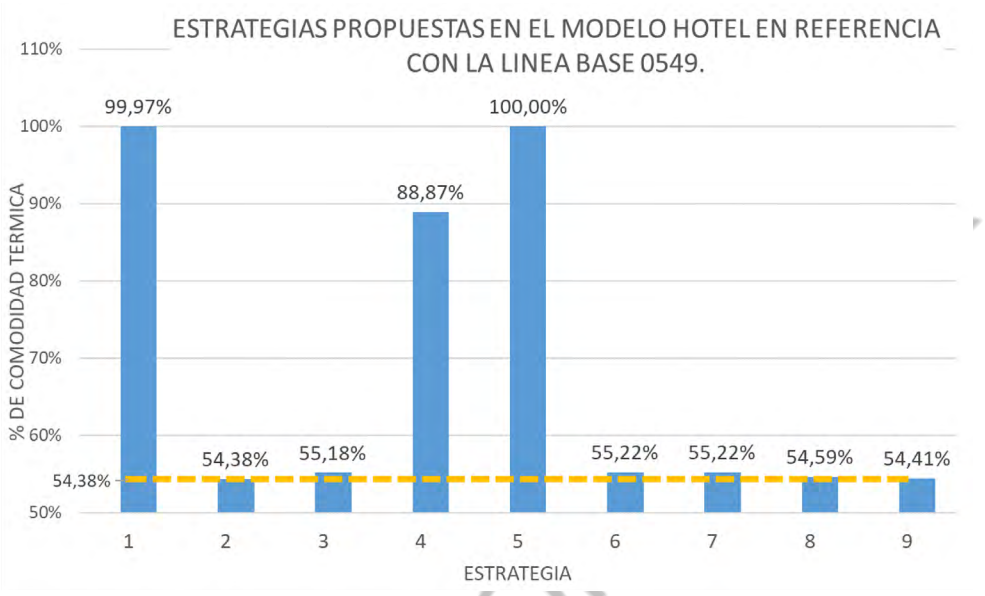


Figura 35. *Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas versus la línea base del modelo Hotel.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

Discusión

De acuerdo con la figura 36, en la cual se agrupan los porcentajes de satisfacción térmica logrados por las estrategias bioclimáticas en las diferentes tipologías se identifica que la estrategia de protección solar sobre vanos, es la estrategia que obtiene el mejor desempeño en todas las tipologías con un aumento del 63% al 100% de la comodidad térmica; en segundo lugar, la implementación la ventilación cruzada tiene mejoras entre el 20% y 100%, en tercera posición y no menos importante orientar el edificio con sus fachadas más largas hacia el norte y el sur con mejoras en la comodidad térmica entre un 10% y 100%.

Respecto a la forma y posición de las ventanas en la fachada solo obtuvo resultados positivos usando una configuración de proporción 1:1 posicionadas a media altura en las tipologías de hospital, comercio y hotel con un 4%, 96 y 100% respectivamente.

Bajar el valor de U en muros tiene pocos resultados, exceptuando a la tipología comercial cuya área de fachada opaca es la mayor en relación con las demás. La disminución del valor U en cubierta presenta mejoras en las tipologías de oficina y comercio con un 28% y 76% respectivamente.

El incremento de la reflectividad en la envolvente vertical tiene mejores resultados en su implementación en la tipología comercial con una satisfacción térmica del 100%. Se observa que la estrategia de aumento de reflectividad en la envolvente horizontal es más efectiva solo en la tipología de oficinas con un 61% y comercial con 89%. Por último, tenemos la RVP la cual solo se pudo aplicar en el tipo de oficinas presentando el único resultado de mejora en esta evaluación en donde se pasó de una RVP de 50% a 40%, lo cual significó pasar de 75,33% de insatisfacción térmica anual a 66,15%.

De acuerdo con los resultados de las simulaciones, las medidas pasivas con mayor impacto son: protección solar en vanos, la ventilación cruzada y la orientación del edificio. Lo cual confirma lo encontrado en el diagrama de Givoni (1969) presentados en la figura 2 y la figura 3 del presente documento que corresponden a las estrategias aplicables a los climas Cálido semihúmedo y Cálido semiárido. Sin embargo, hay que aclarar que aquellas estrategias que no obtuvieron una mejora tan notoria como estas 3, no deben ser descartadas, si no, usarse como complementos a manera de conjunto para obtener un mejor desempeño general.

Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas.

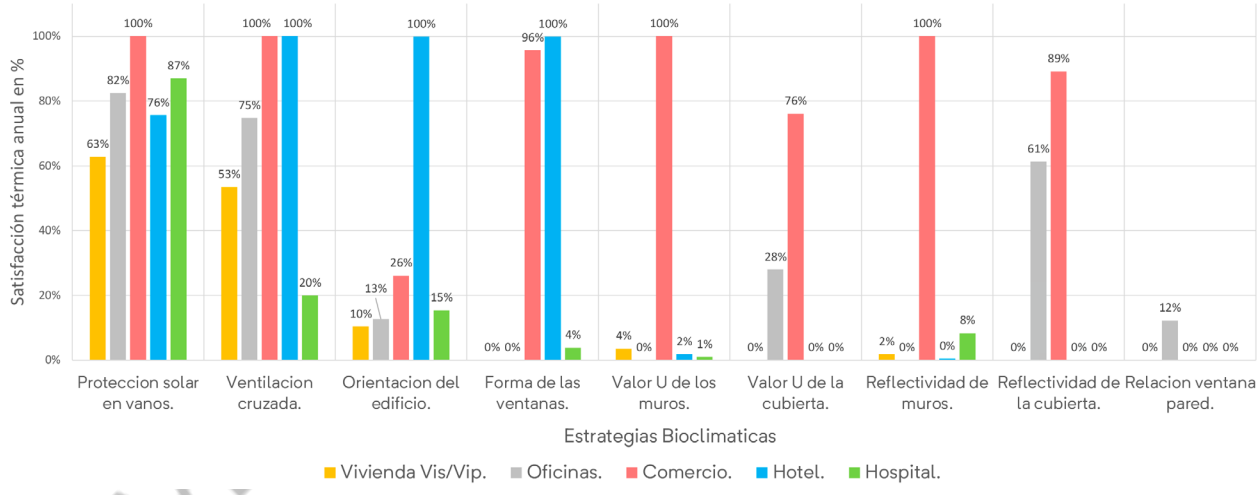


Figura 36. *Porcentaje anual de horas en confort térmico con la implementación de las estrategias bioclimáticas en diferentes tipologías edificatorias.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

Materiales Sustentables

TOMO II | Capítulo 2

ÍNDICE DE CONTENIDO

TOMO II | Capítulo 2

		Pág.
	ACTORES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES.	**246**
A.	**MARCO REFERENCIAL.**	**247**
	- Extractores de materias primas. - Industriales. - Transportistas. - Empresas constructoras. - Promotores. - Empresas de mantenimiento, reparación y rehabilitación. - Certificadores y laboratorios. - Gestores de residuos de construcción y demolición. - Otros sectores económicos de interés. - Comunidad y medios de comunicación.	
	MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.	**270**
B.	**CONTEXTO.**	**271**
2.1.	**CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR.**	**272**
2.2.	**PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN** (MS1.1, MS2.1, MS2.2, MS2.3, MS3.1, MS5.1, MS5.2 y MS5.3.)	**275**
2.3.	**CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES E INFRAESTRUCTURA** (MS4.1, MS4.2 y MS4.3.)	**277**
2.4.	**USO Y OPERACIÓN DE EDIFICACIONES E INFRAESTRUCTURA.**	**280**
2.5.	**TERMINACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE EDIFICACIONES E INFRAESTRUCTURA.**	**281**
	- Aprovechamiento de RCD en el sector de la construcción. - Estudio de casos. - Sistema de gestión de RCD.	
2.6.	**PARQUE AMBIENTAL Y TECNOLÓGICO**	**292**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materias primas y procesos de fabricación de los materiales más utilizados en el sector de la construcción de Santiago de Cali.
Tabla 2. Mecanismos de daño que afectan vida útil y condiciones de servicio de las obras civiles.
Tabla 3. Descripción de principales certificadores en Colombia y a nivel internacional.
Tabla 4. Ubicación de RCD de obras informales en Cali. Sitios autorizados y no autorizados.
Tabla 5. Barrios donde se encuentra el 55% de la disposición de RCD.
Tabla 6. Tipología de los residuos dejados en esos sitios.
Tabla 7. Consumo de materiales de construcción según sistema constructivo de Santiago de Cali.
Tabla 8. Clasificación de RCD de acuerdo a la Norma Europea EN 12620.
Tabla 9. Composición detallada de los grupos de RCD de la Norma Europea EN 12620.
Tabla 10. Categorías de impacto ambiental y su peso relativo para el análisis del ciclo de vida de los materiales de construcción.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Impacto en las cuencas debido a la extracción de recursos naturales para la construcción. Izq.: extracción de la roca en el Río Pance. Der.: extracción de arena del lecho del Río Cauca.
Figura 2. Problemáticas asociadas a la disposición inadecuada de los RCD. Izquierda: Estación de transferencia (EDT) de la carrera 50 de Santiago de Cali. Derecha: RCD dispuestos inadecuadamente en el Río Cauca.
Figura 3. Descolmatación EDT Carrera 50 en Santiago de Cali.
Figura 4. Transformación de un modelo de economía lineal a un modelo de economía circular.
Figura 5. Zonas importantes en la extracción de materias primas para el sector de la construcción existente en Santiago de Cali.
Figura 6. Clasificación de materiales de construcción de acuerdo a sus propiedades químicas, físicas, mecánicas y durabilidad.
Figura 7. Producción de toneladas de cemento en el Valle del Cauca 2010 – 2012.
Figura 8. Zonas de mayor generación de residuos de construcción y demolición en Santiago de Cali.
Figura 9. Lugares de disposición final de RCD en Santiago de Cali.
Figura 10. Vertederos de RCD en la ciudad de Santiago de Cali.
Figura 11. Vertimiento de residuos en los cauces del río Cauca: contaminación, destrucción biodiversidad.
Figura 12. Modelo de Economía Circular del Sector de la Construcción para Santiago de Cali compuesto por los macroprocesos de producción de materiales de construcción, construcción, uso y operación, y terminación del ciclo de vida de edificaciones e infraestructura.
Figura 13. Secuencia del proceso de deconstrucción.
Figura 14. Edificaciones e infraestructura con concretos y morteros con capacidad de auto-limpieza y purificación del aire.
Figura 15. Familia de eco-productos del Parque Ambiental y Tecnológico de Santiago de Cali.
Figura 16. Aprovechamiento de residuos de la construcción en la Unión Europea.
Figura 17. Proceso de separación para la producción de agregados reciclados a partir de RCD.
Figura 18. Evaluación técnica para el desarrollo de productos en el Parque Ambiental y Tecnológico de Santiago de Cali.
Figura 19. Etapas y normas para el desarrollo del análisis del ciclo de vida del portafolio de materiales de construcción.
Figura 20. Ejemplo de un diagrama de flujo usado como soporte en el análisis del inventario.

Actores en el sector de la construcción y sus impactos ambientales

A.

Marco Referencial

VERSIÓN BORRADOR

El acelerado crecimiento de la población Colombiana y su desplazamiento a los centros urbanos en los últimos 50 años, ha estimulado indirectamente el desarrollo del sector de la construcción nacional, el cual representa uno de los sectores productivos más relevantes en la economía del Valle del Cauca y Santiago de Cali, potenciando gran cantidad de empleos (directos e indirectos) y dinamizando otros sub-sectores de la economía regional.

De acuerdo a la Cámara Colombiana de la Construcción, en Colombia el sector de la construcción genera actualmente inversiones anuales por 77 billones de pesos, aporta 46 billones de pesos a la economía, demanda insumos por 34 billones de pesos anualmente y, junto con las actividades inmobiliarias, genera 1.8 millones de empleos (CAMACOL, 2018).

Además, esta industria ha sido muy importante en la mejora de la infraestructura para la conectividad terrestre y aérea, el desarrollo del sector vivienda, el suministro de servicios públicos, hospitalarios, educativos, y el crecimiento de la actividad empresarial, turística y comercial de la región. Sin embargo, principalmente debido a la desarticulación de todos los actores dentro del sector construcción, la falta de control y el desconocimiento de los impactos ambientales por parte de todos los actores, se han generado serias problemáticas en el Valle del Cauca y particularmente en la ciudad Santiago de Cali.

Actualmente el deterioro ambiental de las siete cuencas hidrológicas de los ríos que cruzan la ciudad es significativo debido a la extracción de materias primas, esto particularmente ocasionado por la minería artesanal e ilegal (figura 1).

Asimismo, la adecuada disposición de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) se ha convertido en un gran desafío para la región (figura 2).

Diariamente en la ciudad de Santiago de Cali se generan aprox. 2500 m³ de escombros o RCD, ocupando uno de los primeros lugares entre las capitales colombianas en la generación de este tipo de residuos (Plan de Ordenamiento Territorial de Alcaldía Santiago de Cali, 2014).

Para enfrentar este reto, por su costo y magnitud, se destacan los trabajos realizados por la Alcaldía de Santiago de Cali para la descolmatación de la Estación de Transferencia (EDT) de la Carrera 50 (Figura 3) y las labores de limpieza del jarillón del río Cauca. En el año 2020 se realizó la descolmatación de la EDT de la carrera 50 con el apoyo de la empresa Yotoco S.A.S.

Específicamente las 340 toneladas promedio de RCD (origen residencial) que se reciben en 180 o 200 viajes (chanas) fueron trasladadas a Puerto Tejada, sitio de disposición final. En la EDT de la carrera 50 se reciben materiales pétreos como ladrillos, arenas, gravas, gravillas, cemento, mármol, cerámica, granito, y no pétreos procedentes de la actividad constructiva.



Figura 1. *Impacto en las cuencas debido a la extracción de recursos naturales para la construcción. Izquierda: extracción de roca en el Río Pance. Fotografía publicada por el Tiempo el 7 de Septiembre de 2018. Derecha: extracción de arena del lecho del Rio Cauca.*
Fuente: *Fotografía publicada por la CVC el 23 de Febrero de 2015.*

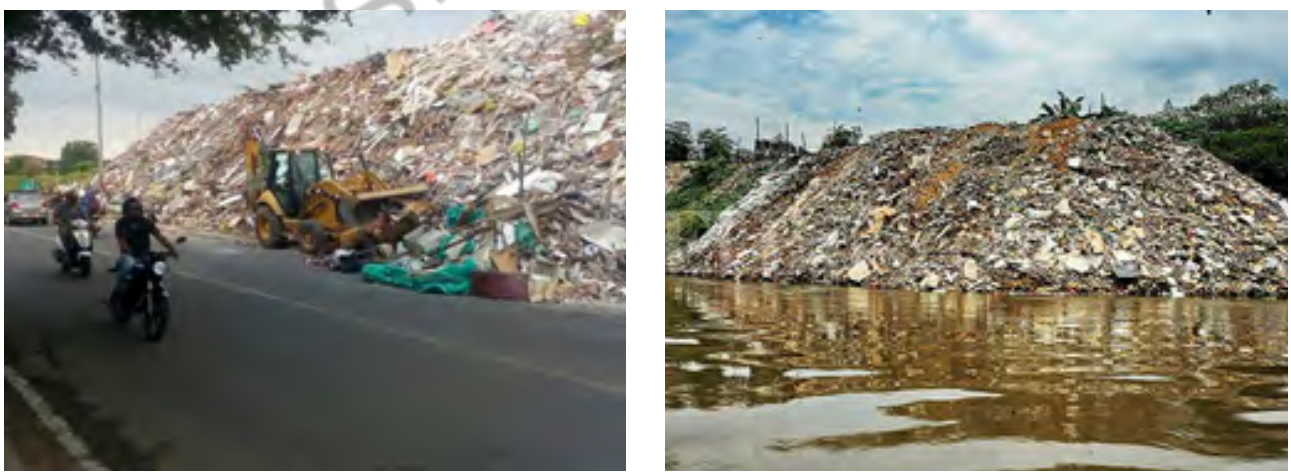


Figura 2. *Problemáticas asociadas a la disposición inadecuada de los RCD. Izquierda: estación de Transferencia (EDT) de la Carrera 50 en Santiago de Cali. Derecha: RCD dispuestos inadecuadamente en el Rio Cauca.*
Fuente: *Izquierda: Fotografía publicada por el Tiempo el 6 de Febrero de 2018. Derecha: Fotografía publicada por el País el 13 de Septiembre de 2014.*



Figura 3. *Descolmatación EDT Carrera 50 en Santiago de Cali.*
Fuente: *Alcaldía de Santiago de Cali, 2019.*

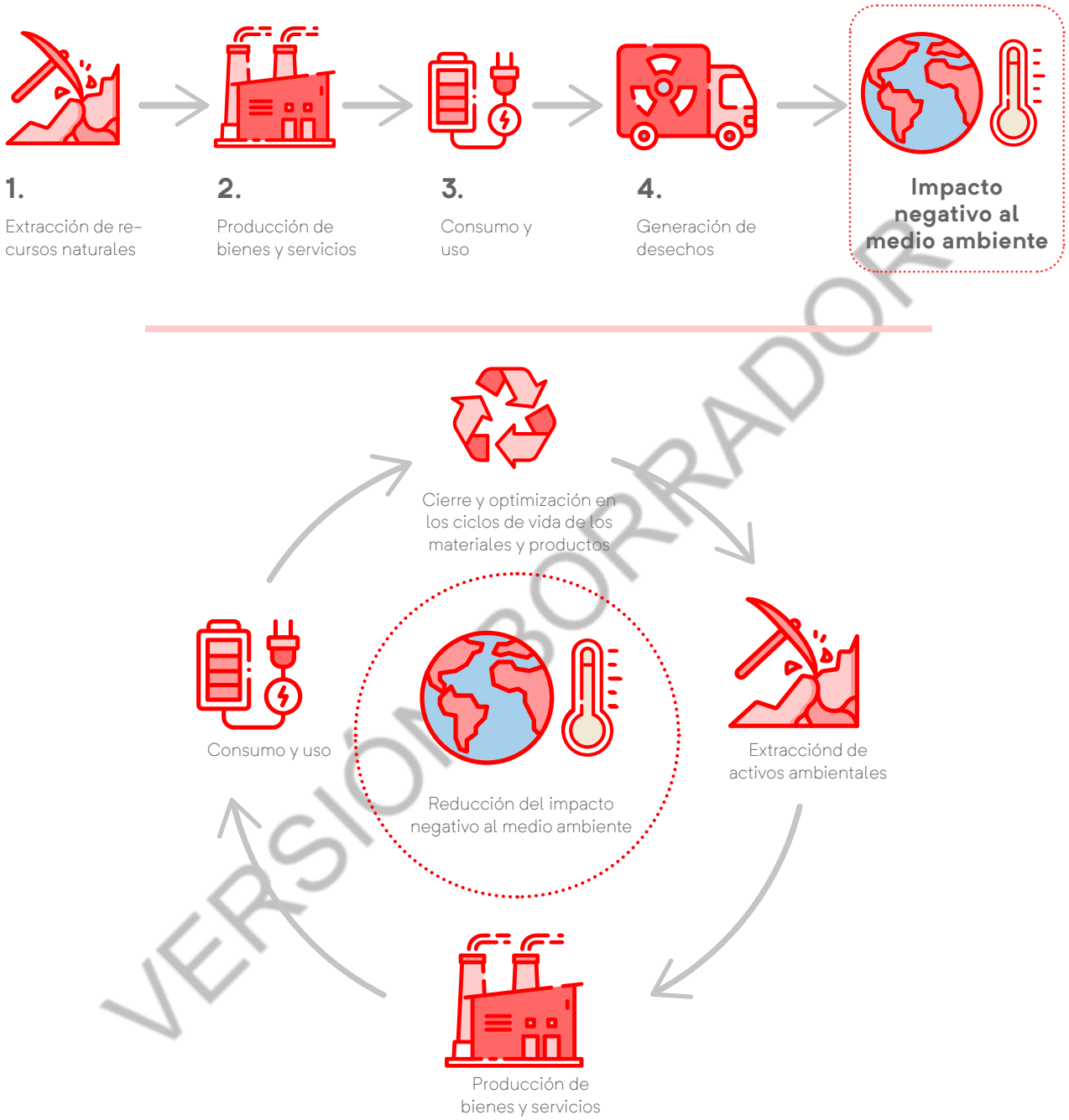
VERSIÓN BO

Por lo anterior y con el ánimo de mejorar esta situación, el Manual de Construcción Sostenible es una herramienta liderada por el Departamento Administrativo de Planeación Municipal de la Alcaldía de Santiago Cali que busca la transformación del sector de la construcción de un modelo lineal, (extracción, producción, consumo y desecho) a un modelo de economía circular (figura 4).

Aunque existen diversas interpretaciones del concepto de economía circular, este manual lo define como un sistema de producción y consumo que promueve la eficiencia en el uso de **materiales, agua y energía,** teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas y el uso circular de los flujos de materiales a través de la implementación de innovaciones tecnológicas, alianzas y colaboraciones entre los actores, y el impulso de modelos de negocio que respondan a los fundamentos del desarrollo sostenible (DANE, 2020).

Con base en estos principios, los cuales buscan el desarrollo sostenible del sector de la construcción mediante la economía circular, resulta necesario identificar a cada uno de los actores de la cadena de valor existente, incluyendo sus retos y oportunidades.

Por tanto, a continuación, se describen los actores y sus principales impactos ambientales en agua, energía y materiales. Se destaca que en este proceso de identificación o mapeo de actores se utilizó el modelo de cuádruple hélice para la innovación (Miller et al., 2016), por lo que se incluyeron actores clave del sector empresarial, gobierno, sociedad civil y academia, la cual desarrolla investigación aplicada hacia la construcción sostenible, actividad fundamental para el éxito del modelo de economía circular; por ejemplo, mediante el eco-diseño y planteamiento de soluciones basadas en la naturaleza.



VERSIÓN BORRADOR

Figura 4. *Transformación de un modelo de economía lineal a un modelo de economía circular*
Fuente: *DANE, 2020.*

Con base en estos principios que buscan el desarrollo sostenible del sector de la construcción mediante la economía circular, a continuación se describen los actores y sus principales impactos ambientales en agua, energía y materiales:

Extractores de materias primas

La extracción de materias primas es el primer eslabón del sector de la construcción, en el cual mediante la implementación de ciertos sistemas mecánicos y equipos de explotación, se extraen minerales y materiales como: roca caliza, mineral de hierro, yeso, arcilla, agregados gruesos y finos, madera, gravas y arenas, mármol, granito, entre otros.

Aunque estos minerales y materiales se utilizan en diferentes sectores económicos, el de la construcción es uno de los que demanda los mayores volúmenes. Por otro lado, debido a que un grupo de las empresas de este eslabón son de tipo artesanal, y a que un porcentaje importante de la extracción de materias primas en el Valle del Cauca, es manejado por mineras que operan en la ilegalidad, se produce una amplificación de los impactos ambientales y sociales que se suman a los causados por la minería legal. Esta condición no facilita a los entes gubernamentales y de control la cuantificación de la oferta ambiental e impide una correcta trazabilidad de la dimensión de los impactos conjuntos de la minería legal y la ilegal.

Por lo anterior, aunque la explotación de minerales reporta considerables beneficios económicos tanto para la región, como para la economía nacional, por la comercialización del material extraído y la cantidad de empleos que genera, se hace necesaria una investigación rigurosa y a escala detallada del territorio para la cuantificación de dichos impactos y pérdidas ambientales, en su mayoría de carácter irreversible, para que sea contrastada con los beneficios; y así evaluar la viabilidad de la actividad minera.

Asimismo, se deben diseñar estrategias orientadas a erradicar la minería ilegal y revisar la artesanal, que por la carencia de tecnologías adecuadas y falta de mecanismos de control causan las mayores afectaciones ambientales.

En general, las principales acciones que en la extracción de materias primas producen daños ambientales son: el descapote del terreno, fraccionamiento de la roca, la perforación y voladuras, las excavaciones, lavado de materias primas y el transporte.

A continuación se describen sus impactos en el suelo, aire, agua, flora y fauna:

1. **Suelo:** alteración de la geomorfología y la topografía, incremento de la dinámica de los procesos de erosión, transporte y sedimentación, compactación del suelo por el tráfico de la maquinaria pesada y el transporte, contaminación por el derrame de lubricantes y combustibles.

2. **Aire:** aumento de los niveles de ruido por los trabajos de perforación y voladura, transporte y procesamiento, contaminación por gases derivados de la maquinaria y polvo de la extracción de materias primas.

VERSIÓN BORRADOR

3. **Agua:** cambio de las propiedades físico-químicas del agua, alteración del drenaje superficial y subterráneo por la formación de oquedades, así como de las cuencas hidrográficas.

4. **Fauna y Flora:** desaparición de especies de animales y plantas nativas (espontánea, arbórea y arbustiva), alteración del paisaje natural por disminución de sus componentes (cárcavas y relieve natural).

En relación a su localización, el sector de la construcción que opera en Santiago de Cali utiliza normalmente las canteras localizadas en perímetro urbano y los municipios vecinos como Yumbo, Vijes, San Marcos, entre otros. Por ejemplo, la extracción de caliza se realiza en Cali, Yumbo y Vijes, mientras la extracción de arenas y gravas se realiza en los ríos Cauca y La Vieja.

De igual modo, la extracción de arcilla se realiza en San Marcos y otros municipios circundantes (Gobernación del Valle del Cauca, Dpto. Administrativo de Planeación, 2013). En el siguiente mapa se indican las principales zonas de extracción de materias primas para la actividad constructiva del distrito (figura 5).

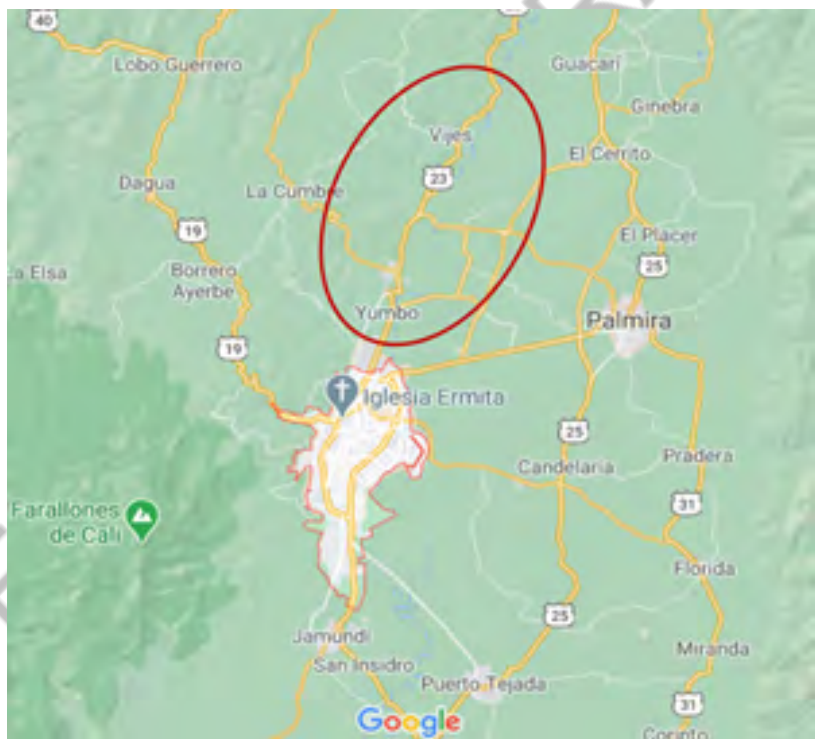


Figura 5. *Zonas importantes en la extracción de materias primas para el sector de la construcción existente en Santiago de Cali.*
Fuente: *Google maps, 2021.*

VERIFICADOR

Industriales

La industria existente para la producción de materiales y componentes que serán requeridos en la fase de construcción, uso y/o mantenimiento de edificaciones, viviendas e infraestructura resulta ser un gremio de gran relevancia e influencia dentro del sector de la construcción desde el punto de vista económico, tecnológico, social y ambiental.

Considerando que, generalmente los industriales están categorizados y especializados en el tipo de material que procesan, resulta muy importante destacar que, de acuerdo a las propiedades químicas, físicas, mecánicas y durabilidad, los materiales de construcción se han clasificado en 4 grandes grupos que son: metales, cerámicos, polímeros y compuestos (figura 6).

Los metales y sus aleaciones, incluyendo acero, aluminio, hierro fundido, titanio, cobre, níquel, generalmente tienen como característica una buena conductividad térmica y eléctrica, una alta ductilidad conformabilidad, resistencia al impacto, y una resistencia relativamente alta. Son particularmente útiles en aplicaciones estructurales o de carga (Askeland, 1999).

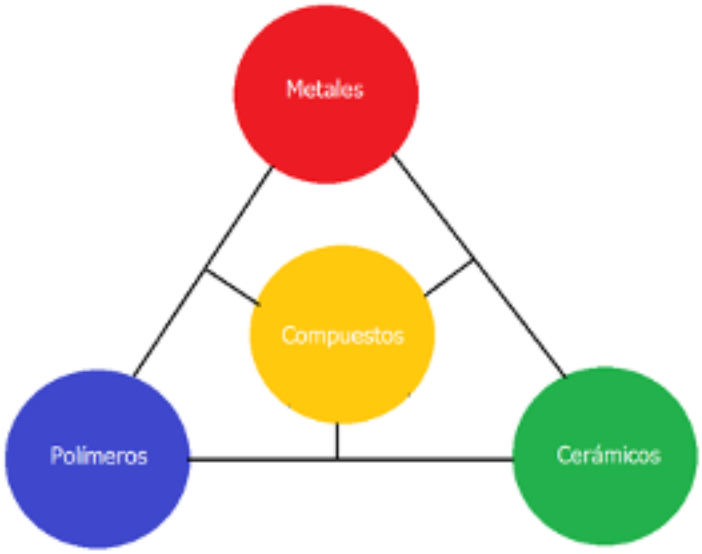


Figura 6. *Clasificación de materiales de construcción de acuerdo a sus propiedades químicas, físicas, mecánicas y durabilidad.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERIFICADOR

Los cerámicos son materiales fuertes y muy duros, aunque también frágiles o quebradizos. Por lo anterior, ladrillos, vidrios, porcelana, refractarios y abrasivos se han utilizado como aislantes en la construcción (Askeland, 1999).

Los polímeros están conformados por grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas. Los polímeros, que incluyen el hule, plástico, y adhesivos, tienen baja conductividad eléctrica y térmica, reducida resistencia y no son adecuados para utilizarse a temperaturas elevadas. Sin embargo, los polímeros termoplásticos, en los cuales las largas cadenas moleculares no están conectadas de manera rígida, tienen buena ductilidad y conformabilidad, se destaca el PVC (Policloruro de Vinilo). Por su parte, los polímeros termoestables son más resistentes, aunque más frágiles porque las cadenas moleculares están fuertemente enlazadas (Askeland, 1999).

Los materiales compuestos son aquellos constituidos por dos o más materiales, produciendo propiedades que no se encuentran de forma individual en ninguno de los materiales metálicos, cerámicos o poliméricos. El concreto, la madera prensada (aglomerado), la madera laminada, la fibra de vidrio son ejemplos típicos. Con los materiales compuestos, por ejemplo, se pueden producir materiales ligeros, fuertes, dúctiles, y resistentes a altas temperaturas (Askeland, 1999).

En general, de acuerdo estudio realizado por Ecoingeniería para los sistemas constructivos predominantes en Santiago de Cali, los principales materiales de construcción son: agregados (triturados y arena de rio), cemento (gris y blanco), concreto, roca muerta o tierra de excavación, cerámica cocida, acero, madera, teja de fibrocemento, PVC, cobre, y pinturas (ACODAL, 2017). Por otro lado, para analizar los impactos ambientales de cada material, es necesario también considerar el método de procesamiento o proceso de fabricación y las materias primas. En la tabla 1 se indican los procesos de fabricación y materias primas para los materiales de construcción con mayor demanda por el sector construcción de Santiago de Cali.

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	PROCESOS FABRICACIÓN	MATERIAS PRIMAS
Cemento (gris y blanco)	Preparación; dosificación y molienda; homogenización; clinkerización; enfriamiento; adiciones y molienda; empaque y distribución.	Caliza, arcilla, arena, mineral de hierro (bajo contenido en los cementos blancos) y yeso.
Acero	Fundición (e.g. horno cuchara); colado; calentamiento en horno; laminado de barras.	Mineral de hierro, coque, carbón, caliza.
Agregados (finos y gruesos) y Roca muerta.	Trituración y molienda; tamizado; lavado con agua; separación (por trituración o densidad); fraccionamiento elástico.	Rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.
Concreto	Selección de componentes; diseño de mezclas; control, manejo y almacenamiento de materiales; dosificación y mezclado; transporte a la obra y dentro de la obra; colocación; consolidación; acabado; protección y curado.	Cemento, agregados finos y gruesos, aditivos y agua.

VERSIÓN BORRADOR

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	PROCESOS FABRICACIÓN	MATERIAS PRIMAS
Madera prensada (aglomerado) o Madera laminada	Descortezado; astillado; secado; clasificado; adhesivo; proceso de formación; prensado; enfriado y corte.	Madera, resina de urea, formaldehido o similar.
Cerámicas	Preparación; dosificación y molienda; homogenización; calentamiento; moldeado (extrusión, presión, inyección, entre otros); y tratamiento térmico (quemado).	Arcillas, minerales, agua, aditivos (cementantes, colorantes, plastificantes).
Teja Fibrocemento	Preparación; dosificación; homogenización; moldeado; curado (en vapor o aire); corte y pintado.	Aglomerante (cemento o silicato de calcio), fibras (orgánicas, minerales y/o inorgánicas sintéticas), y aditivos (e.g. colorantes).
PVC (Policloruro de Vinilo)	Suspensión; emulsión; masa; solución (polimerización); y moldeado (e.g. calandrado, extrusión, inyección, prensado, recubrimiento, inmersión, vaciado, moldeo rotacional, sinterización, lecho fluidizado).	Etileno, cloruro de sodio, agua.
Cobre	Fundición, moldeo, corte, calentamiento, extrusión, trefilado, recocido, y acabado.	Mineral de cobre y cobre reciclado.
Pinturas	Preparación; dosificación y mezcla; molido de pigmentos; control de finura; control de color; control de estabilización y envasado.	Pigmentos, aglutinantes, disolventes, plastificantes, cargas.

Tabla 1. *Materias primas y procesos de fabricación de los materiales más utilizados en el sector de la construcción de Santiago de Cali.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

Mediante un soporte tecnológico, generalmente sofisticado, la fabricación de materiales de construcción utiliza recursos renovables y no renovables en cantidades masivas, con altos consumos energéticos que generando grandes emisiones gaseosas y material particulado afectan la calidad del aire a nivel local y favorecen el fenómeno de calentamiento a nivel global.

Aunque su espectro es variado en cuanto al grado de tecnificación, cabe destacar dentro de éstas las cementeras, que por la naturaleza de sus sistemas actuales de producción ocasionan los mayores impactos ambientales.

Por ejemplo, es bien sabido, que la relación existente entre la producción de cemento

portland y la generación de dióxido de carbono (CO_2) procedente de la clinkerización es de aproximadamente del 80 al 100%, es decir, la producción de 1 Ton Cemento genera entre 0.8 y 1 Ton CO_2, dependiendo de la tecnología utilizada. Considerando que anualmente se producen 4,2 billones de toneladas anuales de cemento en el mundo (US Geological Survey, 2020), la industria del cemento es responsable del 7% de los gases de calentamiento global, siendo una de las principales generadoras de este tipo de contaminante. Esto es particularmente importante en los países en desarrollo donde la construcción es uno factores de mayor dinamismo.

En el Valle del Cauca, el cemento gris ocupa un lugar de importancia entre los materiales de construcción, la producción de este material, registró para el año 2010 un total de 621.166 miles de toneladas, seguido para el año 2011 con un crecimiento de 6,3%, lo cual llego a los 660.298 miles de toneladas y finalmente en el año 2012, cierra con 622.175 miles de toneladas de producción de cemento empacado (figura 7).

Asimismo, la industria del cemento consume gran cantidad de combustibles por los requerimientos de energía utilizados para la clinkerización y la fase de enfriamiento.

Por tanto, dependiendo del tipo de combustible que se utilice se tendrán otros impactos negativos como: emisión de contaminantes al aire (monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de

VERSIÓN BORRADOR

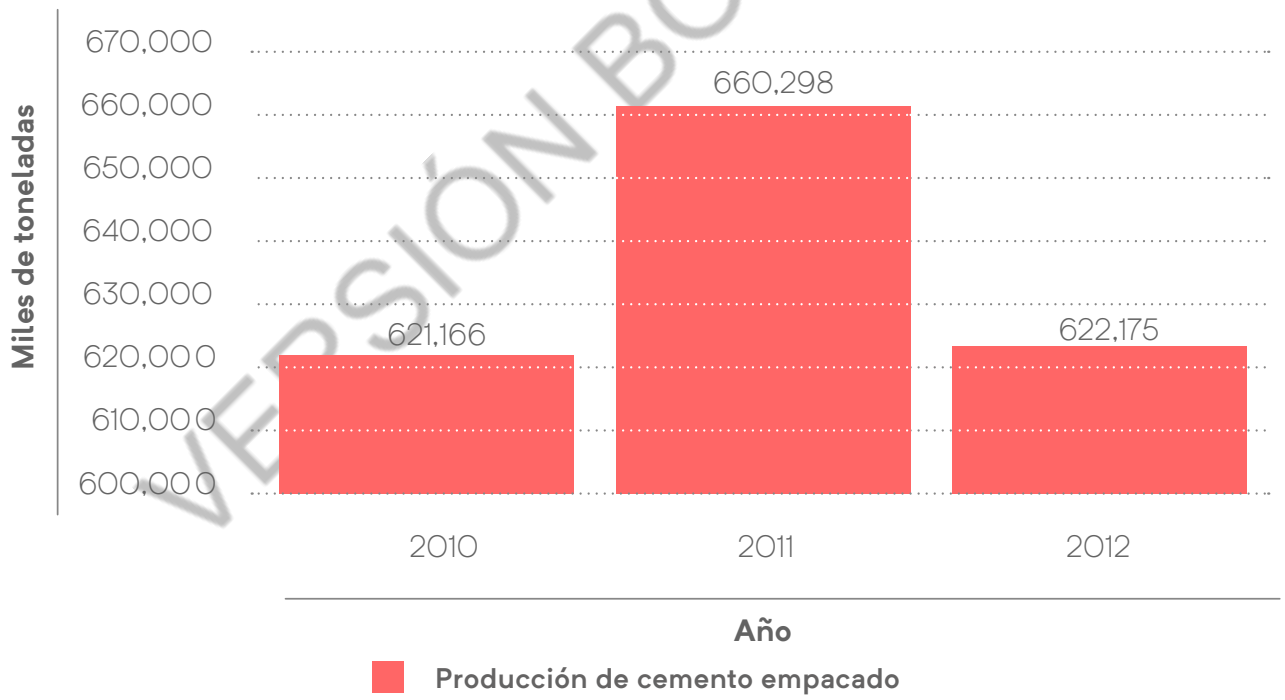


Figura 7. *Producción de toneladas de cemento en el Valle del Cauca 2010 -2012.*
Fuente: *Cifras DANE, con cálculos propios Subdirección de Estudios Socioeconómicos y Competitividad Regional, Departamento Administrativo de Planeación, 2013).*

azufre y partículas muy finas), producción de gran cantidad de polvos y material particulado.

Además, el procesamiento del cemento, puede generar transformación y fragmentación de ecosistemas terrestres en las áreas de influencia de las plantas generadoras de energía eléctrica, deterioro de la franja forestal de los ríos y cuencas hidrográficas, erosión en las orillas de los cauces y reducción de la biodiversidad. Adicionalmente, si el Clinker es desechado de forma inadecuada puede contaminar las aguas subterráneas por los metales pesados que contiene. En conclusión, aunque la industria de los materiales de construcción es también fuente de generación de numerosos empleos y del desarrollo económico de la región, debe fortalecer la innovación en sus productos, bienes y servicios para garantizar la sostenibilidad ambiental, social y económica del sector construcción.

Transportistas

El transporte en el mundo aporta el 26% de las emisiones globales de CO_2, y es uno de los sectores de la industria donde las emisiones siguen en crecimiento (Chapman, 2007). De ahí que este actor de gran relevancia requiera ser estudiado. La función de este eslabón dentro de la cadena de valor del sector de la construcción es esencial, dado que es el medio que moviliza las materias primas, materiales, subproductos y RCD entre los distintos actores de la cadena valor, y está presente en todas las etapas.

De acuerdo con la legislación nacional y distrital existente, su accionar debe ser oportuno, seguro y eficiente. Sin embargo, aunque el control de las emisiones de CO_2 por parte de la flota de transporte es controlado y regulado mediante el cumplimiento de las normativas de mantenimiento y licencias de tránsito exigidas, las emisiones de CO_2, material particulado y otros gases contaminantes están a la orden del día.

Por otro lado, si se generan derrames, dispersión o caída de materiales sobre el espacio público deberían ser recogidos inmediatamente por parte del transportador, por lo cual deben contar con las herramientas y elementos necesarios para la limpieza. Sin embargo, como ocurre con las emisiones gaseosas y material particulado, esta situación en muchos casos no es atendida como corresponde por los transportadores.

Asimismo, estos actores son también responsables de entregar los RCD en sitios de transferencia, puntos limpios, o de aprovechamiento y/o disposición final autorizados por la autoridad competente, lineamiento que en muchos casos no es atendido.

VERSIÓN BORRADOR

Empresas constructoras

Las empresas de este eslabón de la cadena de valor, normalmente de gran tamaño y con alta capacidad financiera, realizan el diseño, la construcción, la estructuración y venta de proyectos comerciales, institucionales, residenciales, e infraestructura en general.

Las empresas constructoras son importantes generadores de impactos ambientales debido a que es el eslabón que consume los materiales fabricados a partir de los recursos naturales; utiliza grandes flujos de energía y agua, tanto en la fase de ejecución de las obras, como en las ulteriores fases de operación por parte de los usuarios que habitarán o utilizarán la infraestructura y las edificaciones.

Además, las empresas constructoras producen de forma directa los mayores volúmenes de RCD. Aunque se presentan ligeros cambios anuales, en el 2013 en la ciudad de Santiago de Cali se generaron 2569 m³ de RCD, de los cuales 22% (569 m³) correspondieron a obras públicas, 55% a grandes generadores (1369 m³) y 23% (579 m³) provinieron de pequeños generadores (DAGMA. 2013). En el siguiente mapa se puede observar la distribución espacial de la generación de RCD que se tenía para el año 2014 (figura 8).

Aunque en el proceso de diseño son determinantes la resistencia mecánica y la durabilidad de los componentes de edificaciones e infraestructura; y actualmente empieza a ser relevante el desarrollo de edificaciones y urbanismos que buscan el ahorro energético, uso eficiente del agua, aspectos de ergonomía, flexibilidad, y en menor grado la reutilización de residuos de materiales de construcción y demolición; en la realidad se encuentra que estos nuevos enfoques no son suficientes y cubren mayoritariamente las fases de operación y uso de las edificaciones e infraestructura una vez terminadas, pero se ignora y deja de lado el manejo de los impactos ambientales durante las fases de construcción y fin de vida útil de las mismas. Es así como durante la ejecución de estas nuevas obras también se presentan altas tasas de contaminación atmosférica que procede de las emisiones difusas de material particulado, gases de combustión y ruido generado por la operación de maquinaria de construcción y demolición de estructuras, generación de vibraciones, alteraciones del suelo y los riesgos de salud ocupacional inherentes a las obras civiles.

Por lo anterior, novedosos paradigmas como el eco-diseño y las soluciones basadas en la naturaleza deben incorporarse en todas las empresas constructoras, sin importar su tamaño ni localización. Ambos enfoques tienen algunas herramientas metodológicas en común, siendo uno de los más empleados, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el cual permite consolidar, comparar y evaluar los impactos en sostenibilidad a través de indicadores ambientales, económicos y sociales. EL ACV también se emplea para tomar decisiones en las primeras fases de diseño, como en la selección de materiales novedosos como los nanomateriales que generan propiedades como la autolimpieza o purificación del aire; o en escenarios de fin de ciclo de vida, para definir las opciones más adecuadas entre reciclaje, reutilización o eliminación de materiales.

VERSIÓN BORRADOR

La utilidad del ACV radica en la determinación y comparación de impactos para tomar decisiones que afectarán todo el ciclo de vida de cualquier proyecto de edificación o infraestructura (Mesa et al., 2021). Para abordar los retos y oportunidades que plantean estos escenarios de innovación para las empresas constructoras, resulta conveniente y necesario trabajar articuladamente con la academia en la investigación de nuevos materiales, estructuras y procesos de construcción.

Esto ciertamente tiene el potencial de desarrollar edificaciones y diferentes tipos de infraestructuras innovadoras. Sin embargo, considerando que las empresas constructoras generalmente no solo son las responsables del diseño, sino que también son las responsables del proceso constructivo, mantenimiento, demolición, entre otros, resulta preponderante que todas las organizaciones incorporen en su cultura organizacional a la construcción sostenible como un valor misional, de tal forma que los directivos, profesionales, técnicos, y obreros tomen decisiones conscientes y acertadas desde el punto de vista económico, ambiental y social durante el cumplimiento de cada una de sus funciones.

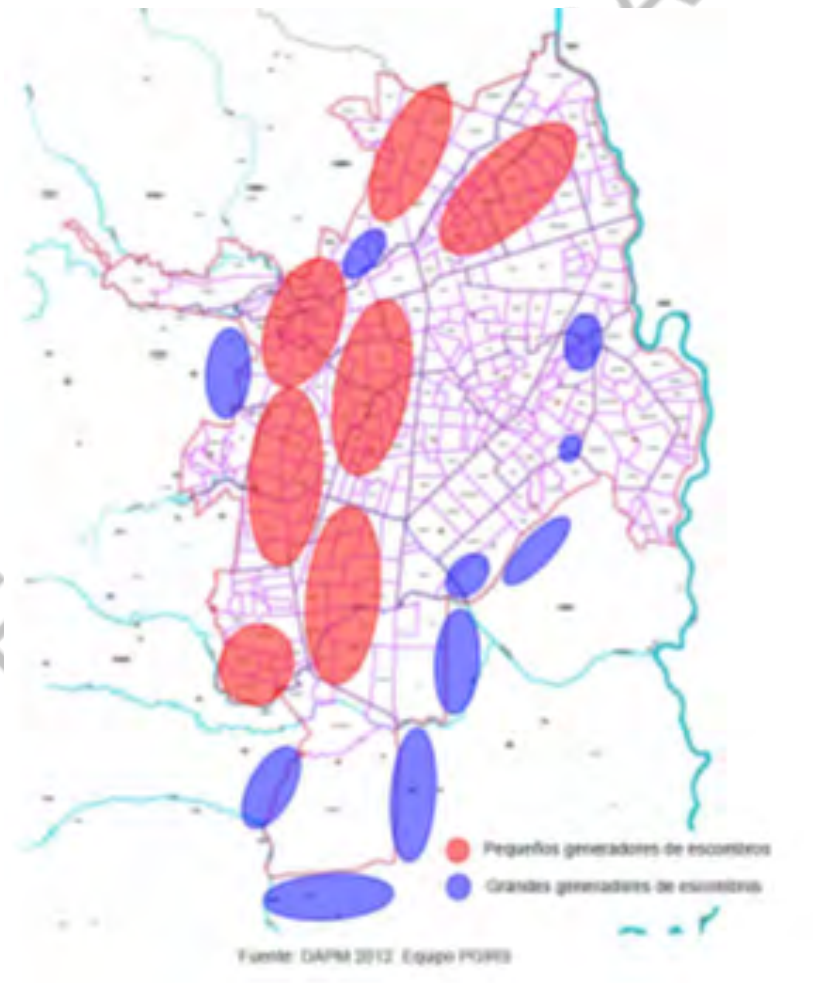


Figura 8. *Zonas de mayor generación de residuos de construcción y demolición en Santiago de Cali.*
Fuente: *DTS POT, 2014.*

Promotores

Son los agentes encargados de comercializar las obras civiles construidas. Como conector de actores debe cumplir un papel importante en la educación del usuario final del bien hacia el uso sostenible de los recursos energéticos, manejo del agua y residuos sólidos durante la fase de operación. Los promotores también son importantes en la concientización sobre el mantenimiento preventivo de la edificación o infraestructura para incrementar la vida útil y mantener la calidad de las instalaciones y recursos suministrados, lo anterior resulta fundamental para reducción de residuos derivados de las obras de mantenimiento y reparaciones.

Empresas de mantenimiento, reparación y rehabilitación

Este es un actor normalmente no claramente identificado dentro del sector de la construcción. Sin embargo, es el responsable, mediante las actividades de inspección, evaluación y diagnóstico, de formular y ejecutar las actividades de mantenimiento, reparación y rehabilitación de edificaciones e infraestructura. Precisamente las actividades anteriores están asociadas al grado de daño de las obras civiles. Considerándose en general las acciones mecánicas, físicas, químicas y biológicas como los principales mecanismos de daño de edificaciones e infraestructura (tabla 2).

Aunque las acciones ejecutadas por las empresas que cumplen este rol son determinantes en las condiciones de servicio y extensión de la vida útil de las edificaciones e infraestructura, el desarrollo de las actividades de mantenimiento, reparación y rehabilitación genera volúmenes de RCD, que aunque no son tan significativos en magnitud, resultan problemáticos desde el punto de vista de la dispersión e intermitencia de su generación.

Asimismo, resulta importante considerar como fuente de generación los planes de recuperación urbanos, donde se impulsa el desarrollo y renovación de sectores urbanos deteriorados y/o subutilizados del suelo urbano y de expansión.

MECANISMOS DE DAÑO	FENÓMENOS
Mecánicos	Sobrecargas, deformación, impactos, vibración, abrasión, erosión y cavitación.
Físicos	Ciclos de hielo-deshielo, resistencia al fuego, ciclos de dilatación-contracción.
Químicos	Carbonatación, corrosión, ataque por ácidos, ataque de sulfatos, reacción álcali-agregado.
Biológicos	Ataque de microorganismos y virus.

Tabla 2. *Mecanismos de daño que afectan vida útil y condiciones de servicio de las obras civiles*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

Certificadores y laboratorios

Aunque no son tan visibles para la comunidad, los certificadores y laboratorios cumplen un papel protagónico en el sector de la construcción.

Los certificadores con el apoyo de los laboratorios deben verificar el cumplimiento de los parámetros técnicos que garantizan la calidad, seguridad y durabilidad, resistencia al fuego, aislamiento térmico de la edificación o infraestructura.

Sin embargo, cada vez con más fuerza y con el ánimo de mitigar los impactos ambientales en el sector de la construcción, se cuenta con certificadores nacionales e internacionales que también valoran cuantitativamente y cualitativamente los esfuerzos desarrollados en un proyecto para reducir impactos en consumo de agua, energía, calidad del aire, materiales, entre otros. En la tabla 3 se indican los principales certificadores existentes a nivel internacional y nacional.

VERSIÓN BORRADOR

CERTIFICADOR	CARACTERÍSTICAS
BREEAM—Building Research Establishment Environmental Assessment Method	La certificación creada en el Reino Unido es una de las más utilizadas en el mundo para medir, organizar jerárquicamente y certificar la sostenibilidad de un edificio. Más de 250.000 edificios en más de 70 países cuentan con esta certificación. Básicamente consta de un sistema jerárquico de criterios para otorgar las siguientes categorías a una edificación: satisfactoria, buena, muy buena, excelente y sobresaliente.
LEED—Leadership in Energy and Environment Design	La certificación originada en Estados Unidos incluye sistemas de medición y organización jerárquica para el diseño, construcción, mantenimiento y operación de "edificaciones verdes" que utilizan algún tipo de tecnología afín. Más de 80.000 edificios en todo el mundo cuentan con esta certificación que se encuentra basada en puntos como: • Platino: más de 80 • Oro: entre 60 y 79 • Plata: entre 50 y 59 • Certificado: entre 40 y 49
CASBEE- Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency	Este sistema japonés de certificación sostenible fue diseñado para medir el impacto en la calidad de vida de las personas, el consumo de recursos y las cargas ambientales causadas por los edificios. El sistema cuenta con el respaldo del gobierno nacional de Japón posee una escala de valoración de 1 a 5. La condición mínima exigida por Ley es 3.

CERTIFICADOR	CARACTERÍSTICAS
BEAM Plus – Hong Kong Building Environmental Assessment Method	Esta certificación originada en la isla de Hong Kong cubre una amplia variedad de impactos de edificios a escala local, global e interior. El sistema de evaluación tiene cuatro niveles: • Bronce: más del 40% de créditos • Plata: más del 55% de créditos • Oro: más del 65% de créditos • Platino: más del 75% de créditos
ESGB – Evaluation Standard for Green Building	Esta certificación china fue diseñada para evaluar edificios nuevos y existentes durante las etapas de diseño y construcción. Esta certificación tiene 3 niveles: • 1 Estrella: más del 33% de los puntos • 2 Estrellas: más del 67% de los puntos • 3 Estrellas: más del 80% de los puntos
EDGE – Excellence in Design For Greater Efficiencies	Edge es el sistema de certificación de construcción verde para los mercados emergentes creado por Corporación Financiera Internacional (IFC), miembro del Grupo del Banco Mundial. Para calificar a la certificación, un edificio debe lograr ahorros en el consumo de energía, agua y energía incorporada en los materiales, en comparación con un edificio convencional. En Colombia el aliado local del IFC para promover y operar la certificación es Camacol.
CASA – Consejo Colombiano de Construcción Sostenible	CASA es el sistema de certificación en construcción sostenible para la vivienda adaptado al contexto colombiano que se basa en un sistema de puntos distribuidos a lo largo de siete categorías claves de la sostenibilidad integral: (1) Sostenibilidad en el entorno, (2) Sostenibilidad en la obra, (3) Eficiencia en Agua, (4) Eficiencia en Energía, (5) Eficiencia en materiales, (6) Bienestar y (7) Responsabilidad Social. El grado de sostenibilidad de los proyectos CASA se representa en 5 estrellas: 5 (Excepcional), 4 (Excelente), 3 (Sobresaliente), 2 (Muy bueno), 1 (Bueno).
Normas ISO – International Organization for Standardization	Las normas ISO14024, ISO14021 e ISO14025 definen respectivamente las características para las etiquetas ecológicas y las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP). Las etiquetas ecológicas son certificables y se basan en los requisitos establecidos por el organismo propietario del esquema.

Tabla 3. *Descripción de principales certificadores en Colombia y a nivel internacional*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

Como se indicó previamente, los certificadores de sellos verdes en la construcción están soportados en las mediciones realizadas en laboratorios e in-situ. Los laboratorios tienen la capacidad de determinar los desempeños en energía, agua y materiales. En este sentido, la academia juega un papel importante, ya que no solo cuenta con los laboratorios, infraestructura tecnológica para hacer las mediciones, sino que con su recurso humano, altamente calificado, investiga el desarrollo de nuevas soluciones para reducir los impactos ambientales en el sector de la construcción.

En Santiago de Cali se cuenta con laboratorios que apoyan el sector de la construcción en las siguientes universidades acreditadas de alta calidad por el Ministerio de Educación Nacional:

1. Pontificia Universidad Javeriana Cali.
2. Universidad del Valle.
3. Universidad ICESI.
4. Universidad Autónoma de Occidente.
5. Universidad de San Buenaventura Cali.
6. Universidad Santiago de Cali.

Gestores de residuos de construcción y demolición

Gran parte de la afectación ambiental mundial causada por la industria de la construcción es originada por una inadecuada gestión de los residuos de construcción y demolición. Es así como en el planeta se producen aproximadamente alrededor de 3 mil millones de toneladas de RCD (Osmani, 2011), convirtiéndo a éste en un serio problema global, no sólo ambiental, sino de carácter económico y de salud pública.

Colombia no es ajena a esta realidad mundial, de ahí que para el año 2011 según estudios realizados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se generaron más de 22 millones de toneladas de RCD en las principales ciudades colombianas. Además, se estima que esta industria en el país es responsable de producir un 30% de los residuos municipales, y que la implementación de prácticas de la construcción sostenible puede generar una reducción de las emisiones de CO2 hasta de un 35%, disminuyendo los costos de residuos hasta en un 90% y, un ahorro de energía y agua en 50% y 30%, respectivamente (WorldGBC, 2008). Los residuos de construcción y demolición, conocidos también como escombros, se generan en las actividades de: construcción, rehabilitación, reparación, reforma o demolición de inmuebles u obras de civiles y están conformados principalmente por tejas, ladrillos, cerámica, elementos sanitarios, mezclas de concreto y residuos de yeso, entre otros; ocasionando problemas ambientales serios, ya que su generación e inadecuada disposición, causa efectos nocivos como: la contaminación del agua, la tierra y el aire, y afectación de los ecosistemas y la salud humana. De ahí la importancia de este eslabón de la cadena, que está conformado por las entidades y personas que se dedican al acopio, recolección, transporte, clasificación, disposición y aprovechamiento de tales residuos.

Pese a que en el Valle del Cauca, particularmente en Santiago de Cali, se han adelantado estudios técnicos de rigor encaminados a diseñar estrategias y modelos de gestión de residuos, en la actualidad la región no cuenta con una infraestructura formal y sistemática para para la transferencia, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los mismos. En términos generales, los operadores de residuos de Santiago de Cali están constituidos por empresas formales y por recicladores informales.

VERSIÓN BORRADOR

Los RCD ocasionados por grandes generadores y obras públicas son recogidos, transportados y dispuestos principalmente por las empresas formalmente constituidas; por otro lado, los RCD provenientes del sector residencial o pequeños generadores son operados principalmente por los recicladores informales. No obstante, algunas constructoras (del sector formal) prefieren contratar los volqueteros para transportar sus residuos, pero estos al no estar vinculados legalmente a una empresa, en ocasiones los disponen de manera inadecuada; razón por la cual en el año 2013 el DAGMA adelantó un proceso sancionatorio a cerca de 42 constructoras en la ciudad (Robayo Salazar et al., 2015).

A grandes rasgos, la gestión de los residuos actual se limita a su traslado y disposición final, una parte se dispone de forma adecuada en los sitios autorizados en municipios vecinos a Santiago de Cali como Candelaria, Yumbo o Puerto Tejada, en fosas de antiguas ladrilleras (figura 9); otra se vierte en un predio ubicado en la avenida Simón Bolívar con Carrera 50 en el borde del canal interceptor Sur CVC al oriente de Cali (lugar conocido como Estación de transferencia de la Carrera 50); y otra proporción de los residuos es arrojada de forma descontrolada en el perímetro de la ciudad en zonas convertidas en lugares clandestinos para el acopio de RCD. Esta última práctica es mayoritariamente llevada a cabo por los recicladores informales. Vale destacar que uno de los aspectos reportados por constructores para la utilización de la oferta informal, es que actualmente se carece de una oferta regular de transportadores (diversidad de volqueteros, chaneros particulares con libertad de tarifas), y no hay garantías de que los transportadores que ofrecen los precios más bajos ejecuten la disposición de los RCD adecuadamente en los sitios autorizados. Todo lo anterior trae como resultado que las disposiciones finales y vertimientos se realicen de manera indiscriminada en diferentes áreas de la ciudad. En el año 2013, el Diario el País representó la distribución de las escombreras de la ciudad de Cali, y las clasificó en los siguientes grupos: botaderos crónicos, escombreras totalmente recuperadas, microbotaderos de escombros, botaderos en recuperación y corredores crónicos de basuras y escombros (figura 10).

BORRADOR



Figura 9. *Lugares de disposición final de RCD en Santiago de Cali*
Fuente: *Alcaldía de Santiago de Cali, UAESPM, 2017.*



Figura 10. *Vertederos de RCD en la ciudad de Santiago de Cali*
Fuente: *Alcaldía de Santiago de Cali et al., 2013.*

A continuación se suministra una relación de los sitios críticos de disposición de RCD de las obras informales en diferentes comunas de la ciudad, la relación de barrios del listado anterior donde se concentra el 55% de la disposición RCD y la tipología de los residuos dejados por número de sitios, todo ello obtenido del Censo 2016 de la Ciudad Santiago de Cali (ACODAL, 2017), y representado en las tablas 4, 5 y 6, respectivamente. Se puede apreciar que los RCD son vertidos en 33 sitios de los 135 estudiados, ocupando éstos el segundo lugar, después de los residuos ordinarios, en número de sitios donde son dispuestos.

COMUNA N°	CANTIDAD DE SITIOS	PARTICIPACIÓN (%)
Comuna 1	14	10,4
Comuna 2	3	2,2
Comuna 3	10	7,4
Comuna 4	4	3,0
Comuna 5	3	2,2
Comuna 6	1	0,7
Comuna 7	1	0,7
Comuna 8	4	3,0
Comuna 9	9	6,7
Comuna 10	7	5,2
Comuna 11	5	3,7
Comuna 12	2	1,5
Comuna 13	12	8,9
Comuna 14	13	9,6
Comuna 15	13	9,6
Comuna 16	4	3,0
Comuna 17	4	3,0
Comuna 18	5	3,7
Comuna 19	3	2,2
Comuna 20	13	9,6
Comuna 21	5	3,7
Sitios censados	**135**	**100**

Tabla 4. *Ubicación de RCD de obras informales en Cali. Sitios Autorizados y no autorizados.*
Fuente: *ACODAL, 2017.*

VERSIÓN BORRADOR

BARRIO (COMUNA)	CANTIDAD DE SITIOS
Siloé (comuna 20)	13
Ciudad córdoba (comuna 15)	6
Mojica (comuna 15)	5
Manuela Beltrán (comuna 14)	5
Terrón colorado (comuna 1)	5
Cristóbal Colón (comuna 10)	4
El calvario (comuna 3)	4
Sucre (comuna 9)	3
Números de sitios en barrios	**45**

Tabla 5. *Barrios donde se encuentra el 55% de la disposición de RCD.*
Fuente: *ACODAL, 2017.*

TIPO DE RESIDUO SÓLIDO	CANTIDAD DE SITIOS
Comercial	7
Construcción y Demolición	33
Especial, Construcción y Demolición	1
Especial, Ordinario, Construcción y Demolición	3
Ordinario	42
Ordinario y Especial	8
Ordinario, Construcción y Demolición	4
Ordinario, Especial, Construcción y Demolición	13
Ordinarios	18
Ordinarios, Construcción y Demolición	5
Recuperado	1

Tabla 6. *Tipología de los residuos dejados en esos sitios.*
Fuente: *ACODAL, 2017.*

Por lo anterior, actualmente en la ciudad de Santiago de Cali, la disposición inadecuada de RCD en vertederos clandestinos, zonas públicas o verdes, ha generado serios impactos como: afectación de la calidad de vida de los habitantes, deterioro del paisaje urbano con la ocupación de grandes espacios volumétricos de RCD a lo largo de la ciudad, daño de la cobertura vegetal, destrucción parcial de hábitats de flora y fauna, disminución de la biodiversidad y desplazamiento de especies, emisión de material particulado a la atmósfera, pudiendo causar problemas respiratorios y la inhalación de partículas o fibras que se desprenden del asbesto cemento por los procesos de corte, que pueden ocasionar enfermedades graves al sistema respiratorio.

Adicionalmente, el distrito de Santiago de Cali se enfrenta a una seria problemática ambiental como consecuencia del arrojo de residuos que se hace en los cauces del Río Cauca (figura 11), causando posibilidades de inundaciones por la ocupación del área hidráulica propia de este afluente, contaminación de cauces con residuos orgánicos y materiales peligrosos, así como contaminación del agua por lixiviación de los RCD, lo que conlleva al deterioro de este afluente hidrográfico. A nivel urbano, la acumulación de sedimentos como consecuencia de estos vertimientos descomedidos, afecta los sistemas de drenaje de la ciudad.

Según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, para el año 2004, la empresa municipal EMCALI EICE ESP., debía remover cerca de 400 toneladas de residuos sólidos y RCD, de los sistemas de drenaje de la ciudad para evitar el colapso de los mismos en las temporadas de lluvia, y disminuir así los riesgos de inundaciones (Pontificia Universidad Javeriana Cali, 2013).

Por otro lado, la Estación de Transferencia de la Carrera 50, es el único sitio que opera actualmente como estación de acopio y distribución autorizado de residuos de construcción y demolición en la ciudad de Santiago de Cali. Fue habilitada desde hace veinticuatro años como estación de

VERSIÓN BORRADOR





Figura 11. *Vertimiento de residuos en los cauces del Río Cauca: Contaminación, destrucción biodiversidad (Personería de Santiago de Cali, 2019).*
Fuente: *Personería de Santiago de Cali, 2019.*

VERSIÓN BO

transferencia provisional de residuos domiciliarios, e ingresan en promedio, por día, 400 metros cúbicos de este tipo de residuos, los cuales son transportados por los beneficiarios del proyecto de sustitución animal, anteriormente conocidos como carretilleros, hoy identificados como 'chaneros', quienes están registrados como gestores de residuos ante el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente, DAGMA (Alcaldía de Cali, 2019). Estos posteriormente son trasladados para su disposición final en el municipio de la Candelaria a un costo aproximado para el municipio de 3 mil millones de pesos anuales. Para mejorar la situación en la que se encuentra la Estación de Transferencia de la Carrera 50 y otras zonas gravemente impactadas, el POT estableció nuevos sitios potenciales para la disposición final en las canteras de la ciudad (Piamonte, Chipichape, Manresa Rocales, y Adecuaciones y Agregados) y las inmediaciones del antiguo vertedero de Navarro, pero en la práctica no se ha podido implementar la operación de estos sitios por las características topográficas, distancias, proximidad a instituciones educativas, hospitales y a la negativa de los propietarios de la tierra (UAESPM, 2017).

La administración viene adelantando, entre otras, las siguientes gestiones importantes a través de la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, UAESPM; la cual durante la vigencia 2018 evacuó 78.875 metros cúbicos de residuos de construcción y demolición, garantizando la descolmatación de la EDT y mitigando los impactos sanitarios, paisajísticos y ambientales generados por la acumulación de este tipo de residuos, esta labor continuó también en la vigencia 2019, logrando su limpieza completa. Así mismo, se realizó la caracterización de los RCD que ingresan a la Estación de Transferencia EDT de la carrera 50, que corresponden aproximadamente a 8.586 toneladas al mes promedio. Este estudio

concluyó que es factible la transformación de los RCD (97 % de los escombros) en eco-productos con calidad similar y en algunos casos, superior a la de los productos convencionales. Esta alternativa debe avanzar con la caracterización de grandes generadores y la gestión para la puesta en marcha de la primera fase del Parque Ambiental y Tecnológico para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos. Adicionalmente, al finalizar la vigencia 2017 se contrataron los estudios de factibilidad para la implementación de la fase 1 del Parque Ambiental y Tecnológico, en el cual se tiene previsto una Planta de Aprovechamiento de RCD (Alcaldía de Santiago de Cali, 2019).

Como conclusión, a pesar de los esfuerzos adelantados por las diferentes administraciones, a fecha de hoy, la ciudad de Santiago de Cali se enfrenta a elevados costos de mantenimiento ambiental, al deterioro ecológico de la ciudad y de sus cuencas hidrográficas, disminución de la calidad de vida, afectaciones sociales y a la carencia de una infraestructura para un adecuado proceso de clasificación y aprovechamiento de los RCD.

Por otro lado, considerando que Santiago de Cali produce un volumen de escombros anual de 1 millón de toneladas aproximadamente (DTS POT, 2014), y teniendo en cuenta las proyecciones del crecimiento de la población y la existencia de una única estación de transferencia, se hace evidente que la capacidad de los sitios de disposición próximos a la ciudad, es bastante limitada por lo que se requieren acciones inmediatas, como por ejemplo los parques tecnológicos propuestos en estudios previamente realizados. Ciudades como Medellín y Bogotá cuentan con cinco y ocho puntos de disposición de RCD, respectivamente, más las estaciones de transferencia, generando progresos en el aprovechamiento de este tipo de materiales.

Otros sectores económicos de interés

Además del sector de la construcción, el desarrollo industrial del Valle del Cauca ha permitido la consolidación de importantes clústeres productivos como el agroindustrial, industria del papel, industria farmacéutica, industria alimenticia, biocombustibles, entre otros. Estos sectores productivos también generan algunos sub-productos que tienen potencial para su reutilización y reciclaje, favoreciendo el desarrollo de una economía circular en la construcción. Con este fin se han identificado cenizas volantes y escorias en la producción de papel, bioetanol y termoeléctricas que tienen potencial de reemplazar parcialmente al cemento portland.

Lo anterior no solo permite reducir la emisión de CO_2 en la producción del Clinker, sino que además permite disponer adecuadamente los residuos de estos sectores productivos muy cercanos al sector de la construcción.

Esto es conocido como la simbiosis industrial y es un instrumento articulado al paradigma de la economía circular que promueve el crecimiento sostenible y el aumento en la eficiencia de recursos, mediante el establecimiento de sinergias de intercambio y aprovechamiento entre industrias con la finalidad de que se produzca una relación beneficiosa para las industrias involucradas.

VERSIÓN BORRADOR

Comunidad y medios de comunicación

La comunidad es el actor del eslabón que habita y utiliza las edificaciones e infraestructura desarrollada.

Por tanto, es un actor de alta incidencia en la cadena de gestión de los RCD debido a que su accionar genera impactos ambientales debido a que son precisamente generadores directos o indirectos de residuos de construcción y demolición; toman decisiones relacionadas con el mantenimiento de edificaciones, viviendas o infraestructuras, que si son oportunas y adecuadas pueden favorecer su vida útil, el consumo de los recursos y el uso de materias primas secundarias.

Por tanto, la comunidad debe tener mayor atención dentro de la cadena de valor de esta industria en el sentido de los impactos ambientales que ocasiona porque aunque los residuos por remodelación representan un bajo porcentaje del total de RCD, pueden tener implicaciones grandes en la limpieza de la ciudad dado que son estos los que tienen un mayor impacto visual sobre la comunidad caleña.

En la ciudad de Santiago de Cali, como en otras ciudades colombianas, encontramos que la comunidad desconoce el manejo adecuado de los RCD, así como el desconocimiento de a quién se debe recurrir para la recolección de sus residuos RCD, desconocimiento de las normas, poca cultura ciudadana e igualmente se evidencia falta de credibilidad en la administración por parte de la ciudadanía (PGIRS, 2015).

De ahí que se requiere educar a los usuarios como generadores de RCD en tener conciencia y responsabilidad sobre el destino final de los residuos que generen, teniendo en cuenta que gran parte de las disposiciones de RCD del sector residencial se ejecutan de forma inapropiada en áreas públicas, canales de agua lluvia y zonas ribereñas de los ríos. Dentro de este usuario cabe destacar el papel que desempeñan los administradores de edificios, unidades residenciales y fincas ya que pueden asesorar la toma de decisiones de los usuarios relacionadas con mantenimientos, reparación o rehabilitación, así como en la selección de materiales más convenientes, igualmente deben ejecutar inspecciones técnicas de los edificios y viviendas para tomar decisiones adecuadas, como por ejemplo mantenimientos preventivos sistemáticos.

Los medios de comunicación (televisión, radio, prensa, cartillas educativas) son una herramienta poderosa y eficaz para contrarrestar todas esas debilidades en la formación de la ciudadanía en cultura ambiental, normatividad, manejo y destino de sus residuos de construcción, toma de decisiones con base en criterios de economía circular como el ahorro de recursos, mantenimientos oportunos, separación en la fuente y el uso de eco productos o materias primas secundarias y para incrementar su confianza en las instituciones.

De acuerdo con el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos - PGIRS 2015-2027, se han adelantado proyectos de inversión relacionados con el eje transversal de IEC (Investigación, Educación y Comunicación para la implementación de estrategias y cumplimiento de metas de información, educación y comunicación para sensibilizar a la ciudadanía en conceptos de "Basura Cero", manejo adecuado de residuos sólidos y de construcción, sin embargo, a la fecha no se han logrado cambios sustanciales en materia de cultura ambiental ciudadana.

VERSIÓN BORRADOR

Modelo de Economía circular en el sector de la construcción

B.

Contexto

Este capítulo describe el modelo de economía circular propuesto para Santiago de Cali, el cual está principalmente orientado al análisis y uso eficiente de los materiales de construcción teniendo en cuenta la recuperación de los ecosistemas y el flujo circular de los materiales. Esta herramienta útil para diseñadores, constructores y empresas abarca la producción de materiales de construcción, construcción, uso y operación, y terminación del ciclo de vida de edificaciones e infraestructura.

En particular, el modelo plantea estrategias concretas para el aprovechamiento de RCD en el sector construcción soportada en investigación aplicada (estudio de casos). Sin embargo, lo anterior implica la incorporación de nuevos paradigmas como el eco-diseño y el pensamiento de ciclo de vida, el cual utiliza el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para tomar decisiones en las primeras fases de diseño, por ejemplo en la selección de nuevos materiales como los nanomateriales, los cuales pueden generar propiedades como la autolimpieza o purificación del aire; o en escenarios de fin de ciclo de vida, para definir las opciones más adecuadas entre reciclaje, reutilización o eliminación de materiales. En esencia, el ACV permite la toma de decisiones sobre la base de los impactos ambientales, sociales y económicos que afectarán todo el ciclo de vida de cualquier proyecto de edificación o infraestructura (Mesa J.A., Fúquene Retamoso C., Maury Ramírez A., 2021). Además, este modelo incluye el sistema de gestión de RCD y algunas características del Parque Ambiental y Tecnológico, principal estrategia de aprovechamiento de RCD. Por su dimensión e importancia, el análisis y propuesta de uso eficiente de agua y energía en el sector construcción se encuentran como unidades independientes a este capítulo.

VERSIÓN BORRADOR

2.1.

Conceptualización del Modelo de Economía Circular

VERSIÓN BORRADOR

Con el ánimo de desarrollar el sector de la construcción armónicamente con el medio ambiente y la sociedad, la transformación de un modelo económico lineal desarticulado (desde las fases de extracción, producción, consumo y desecho) a un modelo económico circular articulado, es una imperante necesidad. Recientemente, la economía circular ha tomado gran popularidad gracias al apoyo de la Fundación Ellen MacArthur, pero su desarrollo viene desde mucho tiempo atrás, destacándose la Agenda 21 de 1992, donde se indicó que los estados debían reducir y eliminar los patrones insostenibles de producción y consumo.

De igual forma, el Club de Roma en 1972, formuló los principios para pensar en una economía diferente a la lineal, especialmente soportado en el informe "Los límites del crecimiento" (Gutiérrez L.F., 2021). Aunque actualmente existen diversas interpretaciones, este manual define la economía circular como un sistema de producción y consumo que promueve la eficiencia en el uso de **materiales, agua y energía,** teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas y el uso circular de los flujos de materiales a través de la implementación de innovaciones tecnológicas, alianzas y colaboraciones entre los actores, y el impulso de nuevos modelos de negocio que respondan a los fundamentos del desarrollo sostenible (DANE, 2020).

Esta conceptualización de la economía circular aplicada al sector construcción en la escala municipal permitirá en el corto plazo un adecuado seguimiento al desarrollo del modelo mediante indicadores directos soportados en la analítica de la oferta y demanda de materiales, energía y agua.

Para esto el Manual de Construcción Sostenible cuenta con una herramienta computacional de apoyo a los usuarios del manual. Además, en el mediano y largo plazo, se debe tener trazabilidad del impacto del modelo de economía circular sobre los objetivos de desarrollo sostenible, especialmente aquellos con mayor relación a la construcción (e.g. ODS 11 - ciudades y comunidades sostenibles, ODS 12 — Producción y Consumo Responsables). En este sentido, considerando que las ciudades son "organismos vivos", la implementación y desarrollo del modelo de economía circular debe reflejarse en el metabolismo urbano, el cual se ha convertido en una herramienta importante para entender cómo el desarrollo de una ciudad causa impactos en el medio ambiente local, regional y global.

Además, el metabolismo urbano permite apoyar el diseño y la planificación urbana sostenibles (Voukkali I. & Zarpas A.A., 2022; Conke L.S. & Ferreira T.L., 2015).

En particular el Modelo de Economía Circular, herramienta liderada por el Departamento de Planeación Municipal de la Alcaldía de Santiago de Cali para el sector construcción, está compuesto por cuatro macroprocesos que son: (I) Producción de Materiales de Construcción, (II) Construcción, (III) Uso y operación y (IV) Terminación del Ciclo de Vida de Edificaciones e Infraestructura. Asimismo, el modelo incluye la articulación con otros sectores productivos que generan residuos de interés para el sector construcción, estrategia conocida como simbiosis industrial (figura 12).

BORRADOR

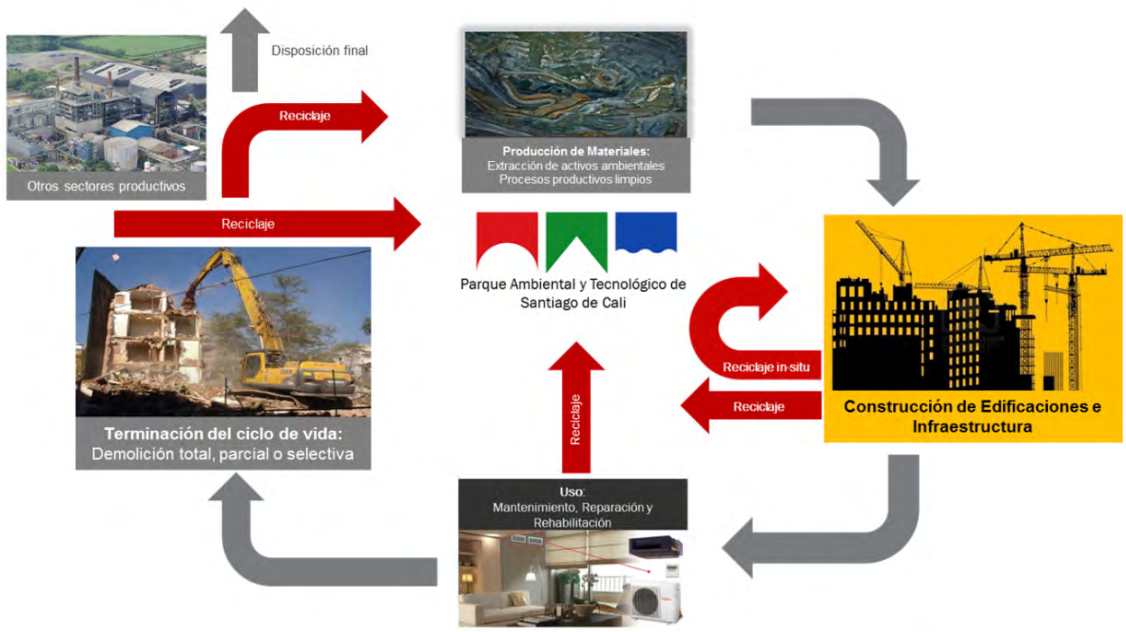


Figura 12. *Modelo de Economía Circular del Sector de la Construcción para Santiago de Cali compuesto por los macroprocesos de producción de materiales de construcción, construcción, uso y operación, y terminación del ciclo de vida de edificaciones e infraestructura.*
Fuente: *Bravo German A.M. et al., 2020.*

Además, en el Modelo de Economía Circular se destaca la articulación de todas las etapas con el Parque Ambiental y Tecnológico de Santiago de Cali, lugar concebido como aquel espacio físico que cuenta con infraestructura y capital humano compartido que ahorra inversiones a las empresas y emprendimientos, las que, al estar insertas en agrupamientos flexibles, encuentran un soporte (in-situ y en el parque) para principalmente transformar RCD y otros residuos en materiales sostenibles para la construcción. A continuación se describe el portafolio completo de servicios que ofrece el parque para cada una de las fases del modelo:

1. Certificación y consultoría para el desarrollo de procesos productivos limpios en la industria de los materiales de construcción.
2. Desarrollo y certificación de planes de manejo de RCD en obras para grandes y pequeños generadores.
3. Desarrollo de tecnologías para el uso eficiente del agua y la energía en edificaciones, así como el manejo de residuos sólidos, y residuos de construcción y demolición.
4. Desarrollo de materiales de construcción que incorporan volúmenes óptimos de RCD garantizando su resistencia mecánica, durabilidad, además fabricados con el menor consumo energético y de agua, así como una controlada generación de emisión de gases y material particulado.
5. Certificación de materiales de construcción sostenibles. Se destacan los materiales para cubiertas, acabados, fachadas y estructuras complementarias (e.g. madera, metales, cerámicos, pinturas).

El modelo de economía circular liderado por la Alcaldía de Santiago de Cali se soporta conceptualmente en la Estrategia Nacional de Economía Circular del Gobierno Nacional, iniciativa creada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, y donde también participan otras entidades del orden nacional y regional.

Precisamente, a partir de las concertaciones con sectores productivos de las diversas regiones, en la estrategia se plantean mecanismos de gestión y política pública a partir de los cuales las entidades del Estado facilitan la transformación hacia la economía circular:

1. Innovación en mecanismos normativos que impulsan a empresas y nuevos emprendimientos a cambiar sus sistemas de producción y superan barreras para el cambio.
2. La gestión de incentivos que promuevan procesos de transformación de sistemas industriales y agrícolas a través de apoyos en capacitación y asistencia técnica.
3. La promoción de la investigación, la innovación y la generación de conocimiento.
4. La cooperación internacional que facilita la transferencia de tecnología y experiencias de otros países.
5. El desarrollo de un sistema de información sobre economía circular para el seguimiento a la implementación de la estrategia y la medición del avance del país en la materia, a partir de datos y estadísticas científicas y técnicas.

Además de estos mecanismos de política pública y gestión, se enfatizan, a partir del diagnóstico del metabolismo de la economía colombiana, seis líneas de acción: (a) flujo de materiales industriales y productos de consumo masivo (b) flujos de materiales de envases y empaques; (c) flujos de biomasa; (d) fuentes y flujos de energía, (e) flujo del agua; y (f) flujos de materiales de construcción (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible et al., 2019).

Por lo anterior, y en función de los problemas ambientales, sociales y oportunidades de desarrollo, el modelo de economía circular

VERSIÓN BORRADOR

propuesto para Santiago de Cali considera prioritarios los flujos de materiales de construcción, flujo del agua, fuentes y flujos de energía durante los macroprocesos de producción de materiales, construcción, uso y operación, y terminación del primer ciclo de vida de edificaciones e infraestructura. A continuación se describen cada una de los macroprocesos planteados:

2.2.

Producción de materiales de construcción

VERSIÓN BORRADOR

**aplicable a los criterios del Sello MS1.1, MS2.1, MS2.2, MS2.3, MS3.1, MS5.1, MS5.2 y MS5.3.*

La producción de materiales de construcción está compuesta de las fases de extracción de materias primas y su respectivo procesamiento. Sin embargo, considerando los graves impactos ambientales y sociales de estas dos fases, en el modelo de economía circular se plantea la incorporación de los conceptos de extracción de activos ambientales y producción limpia como reemplazo a la mirada clásica de producción de materiales de construcción. En el marco de la economía ecológica, los activos ambientales están asociados a los servicios ecosistémicos, recursos o procesos de los ecosistemas naturales (bienes y servicios) que benefician a los seres humanos. Incluye productos como agua potable y aire limpio, y procesos tales como la descomposición de residuos. Con base en la anterior premisa, la valoración de los activos ambientales está

directamente relacionada con la economía, sociología y biología, y se usa principalmente en el marco legal y de derechos de la naturaleza, así como en la responsabilidad ambiental humana de disminuir, en nuestro máximo esfuerzo y potencial, la huella ecológica en cualquier actividad realizada.

Por otro lado, la producción limpia busca la conservación de las materias primas, el agua y la energía, la reducción de las materias primas tóxicas, emisiones y de residuos, que van al agua, a la atmósfera y al entorno. La producción limpia surge desde la ingeniería de procesos como resultado de la filosofía del mejoramiento continuo, de control de calidad y de reingeniería del siglo pasado, y consiste en la revisión de las operaciones y procesos unitarios que forman parte de una actividad productiva o de servicios, con miras a encontrar las diversas posibilidades de mejoramiento u optimización en el uso de los recursos. La producción limpia es definida como una estrategia de gestión empresarial preventiva aplicada a productos, procesos y organización del trabajo, cuyo objetivo es minimizar emisiones y descargas en la fuente, reduciendo riesgos para la salud humana y ambiental, y elevando simultáneamente la competitividad.

Ello resulta de las siguientes acciones: (a) minimización y consumo eficiente de insumos, agua y energía; (b) la minimización del uso de insumos tóxicos; (c) minimización del volumen y toxicidad de todas las emisiones que genere el proceso productivo; (d) reciclaje de la máxima proporción de residuos en la planta y fuera de ella; (e) y la reducción del impacto ambiental de los productos en su ciclo de vida.

Con el ánimo de articularse a los anteriores principios, la Portland Cement Association (PCA), uno de los más importantes y antiguos gremios productivos de los Estados Unidos, ha creado el Concrete Sustainability Hub, un centro de investigación vinculado al Massachusetts Institute of Technology (MIT) y la Ready Mixed Concrete (RMC). El Hub se fundó con la misión de acelerar los avances emergentes en la ciencia y tecnología del concreto y transferir los mejores resultados disponibles a las prácticas de ingeniería. El equipo interdisciplinario de investigadores reúne a líderes de la academia, la industria y el gobierno para facilitar la transferencia de conocimiento al alinear la investigación líder en el mundo con las necesidades del usuario final. Los investigadores del Hub están investigando el concreto desde la nanoescala para abordar la sostenibilidad y las implicaciones ambientales de la producción y el uso del material. Su investigación también tiene como objetivo afinar la composición del concreto, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero durante su producción y cuantificar su impacto ambiental y su costo durante toda la vida útil de una infraestructura o proyecto de construcción (PCA, 2020).

Iniciativas como la anterior han tenido un gran impacto en la industria cementera mundial. Por lo que en Colombia, muchas compañías productoras de concreto y cemento están ampliando su portafolio de productos sostenibles con base en la reducción de consumos de energía y agua durante la producción. Otros grupos de materiales del sector construcción vienen realizando esfuerzos importantes, pero mucho menos articulados y sistemáticos que los desarrollados por la industria del cemento, concreto y acero.

Por lo anterior, el Manual de Construcción Sostenible busca el reemplazo, por lo menos de un 30% en peso, de agregados naturales por agregados reciclados y cementantes alternativos, materiales que aprovechen otros residuos (e.g. poliméricos, maderas, cerámicas, fibrocemento), materiales de baja energía embebida, y bajas huellas hídrica y de carbono, uso de materias primas extraídas de la fuente de forma responsable (e.g. maderas jóvenes cultivadas responsablemente), pinturas con bajo contenido de VOCs, materiales de construcción inteligentes que cuenten con funciones adicionales durante su vida útil (e.g. autolimpieza, purificación del aire, autoreparación).

VERSIÓN BORRADOR

2.3.

Construcción de edificaciones e infraestructura

VERSIÓN BORRADOR

**aplicable a los criterios del Sello MS4.1, MS4.2 y MS4.3.*

La construcción de una edificación o infraestructura es el macroproceso de materialización de los proyectos arquitectónicos e ingeniería (e.g. estructural, hidráulico, sanitario, eléctrico y redes de telecomunicaciones), y surge como respuesta a un conjunto de necesidades globales que el proyecto debe satisfacer en el uso u operación.

Sin embargo, para lograr el objetivo anterior se requiere desarrollar las fases de coordinación previa, simultánea y el seguimiento al proyecto ejecutado. En particular, estas fases buscan la formulación y desarrollo de técnicas constructivas que permitan garantizar los consumos óptimos de agua, energía y materiales, así como la emisión mínima de material particulado, gases y la generación de ruido. Lo anterior no solo permite desarrollar los principios de la construcción sostenible, sino que además minimiza los riesgos laborales, reduce costos y mejora la calidad en las obras.

Considerando la gran cantidad de proyectos y profesionales especialistas que intervienen en la fase de construcción de una edificación o infraestructura, resulta de gran importancia definir las siguientes etapas de control para el desarrollo de un proyecto:

Coordinación previa

Se refiere a la comprensión del proyecto arquitectónico cuando este aún no se encuentra definido y solo se establecen los criterios señalados por su diseñador. Se tratan de establecer alternativas sobre el sistema estructural de la esencia de la misma arquitectura, tipo de cimentación sobre la base del estudio de suelos, eventual localización de pantallas, magnitud de la separación de las columnas y dimensiones, peralte o altura de las placas, características de los materiales probables, entre otros aspectos (Muñoz Muñoz H.A., 2015).

Simultáneamente, siguiendo las buenas prácticas de obras previas, se deben formular las estrategias de construcción que mejoren el desempeño ambiental durante la fase de construcción. Se destacan entre estas: la coordinación en el diseño para reducir los residuos de construcción y demolición en obra, el entrenamiento de operarios en el manejo eficiente de la maquinaria, el control de emisiones en tubos de escape de maquinaria y vehículos, la renovación de motores escape de maquinaria y vehículos utilizados en obra, el uso de biodiesel o combustibles de bajo índice de contaminación, la limpieza de vehículos a la salida de la obra.

Coordinación simultánea

A medida que avanzan las definiciones tanto arquitectónica como estructural de estos proyectos, se comparte el conocimiento entre los profesionales del diseño y se establece de forma simultánea, la incidencia de las definiciones que se derivan del dimensionamiento de los elementos estructurales o aspectos propios que la arquitectura propone como base conceptual del proyecto (Muñoz Muñoz H.A., 2015).

Coordinación de seguimiento posterior al proyecto ejecutado

No es al final la mejor oportunidad para ejecutar tal labor, puesto que no solo se pierde la oportunidad de aprovechar los criterios técnicos que pueden aportar soluciones de buena confección y bajo costo, sino que el proyecto ya desarrollado tendrá que ser ajustado por la incidencia de los elementos estructurales que puedan surgir, hasta el punto que muchas veces puede llegar a afectarse la arquitectura que requiere replanteamientos de gran incidencia con la consiguiente pérdida de tiempo y esfuerzos (Muñoz Muñoz H.A., 2015).

Por otro lado, con base en los actuales requerimientos para el desarrollo de la construcción sostenible, además de la definición de las anteriores etapas de coordinación, se requiere del uso de herramientas tecnológicas que faciliten el trabajo interdisciplinar y simultáneo para la ejecución de los proyectos arquitectónicos y de ingeniería. Por ejemplo, el Building Information Modeling (BIM) o el Modelado de Información de Construcción es una metodología de trabajo colaborativo aplicada al sector de la construcción, una colección de datos de un edificio organizados para facilitar la gestión de proyectos de ingeniería, arquitectura y construcción consiguiendo mejoras en el resultado y eficacia en los procesos. Todos los profesionales implicados en un proyecto de construcción pueden trabajar sobre un único proyecto en tiempo real con acceso a la misma información. BIM está asociado tanto a la geometría, a la relación con el sitio, a la información geográfica, a las cantidades y las propiedades de los componentes de un edificio o infraestructura (por ejemplo, detalles de fabricantes de puertas o datos energéticos de un material). BIM puede ser utilizado para brindar información de una edificación o infraestructura en cualquier

VERSIÓN BORRADOR

momento. Por ejemplo, el avance en el proyecto estructural, actividades de mantenimiento e incluso a los procesos de rehabilitación y demolición. Cantidades de materiales y propiedades compartidas pueden ser extraídas fácilmente. Además, ámbitos laborales, detalles de componentes y secuencias de actividades de construcción pueden ser aislados y definidos. Los software BIM son capaces de lograr dichas mejoras por medio de representaciones gráficas de las partes y los componentes que están siendo utilizados en la construcción de una edificación o infraestructura.

De igual modo, aunque la modularización y prefabricación son tecnologías que se han utilizado durante siglos en la industria de la construcción, su reaparición como nueva tendencia está asociada al ascenso de BIM y los requerimientos de la construcción sostenible. En particular, la modularización hace referencia al proceso de fabricación de unidades funcionales en ambientes controlados fuera de obra, de tal manera que estos puedan ser transportados en piezas enteras desde su lugar de fabricación hasta su ubicación final. Por su parte, los prefabricados son elementos estructurales (e.g. vigas, columnas, pórticos) y no estructurales (e.g. adoquines, bordillos, andenes) que conforman las unidades funcionales (e.g. sistema estructural, cimentación). Los beneficios de utilizar los prefabricados y la modularización en la construcción incluyen ahorros en los calendarios de los proyectos, reducción de imprevistos, optimización de costos por personal y materiales, seguridad, calidad, minización de RCD, y potencial de reutilización de módulos y prefabricados al final del ciclo de vida de edificaciones e infraestructura. En particular el Manual de Construcción Sostenible busca la optimización de procesos mediante la producción industrializada.

Recientemente, la robotización y la impresión 3D han surgido como tecnologías que buscan articular la industria de la construcción a las demandas de la sostenibilidad ambiental, económica y social. En particular la impresión 3D es la fabricación de elementos estructurales y no estructurales mediante la superposición de capas de material, tal como ocurre en la impresión sobre papel. Aun con importantes retos, la impresión 3D ya se ha aplicado a la construcción de casas, puentes peatonales, canales, entre otros.

Finalmente, pero no menos importante, resulta para la construcción la arquitectura transformable o flexibilidad arquitectónica. La historia de las civilizaciones ha mostrado la importancia de replantear el uso de las edificaciones e infraestructura. Este principio ha sido fundamental para la solución de problemas que van desde la alimentación y el cobijo de la intemperie, hasta la logística del campo de batalla. Recientemente, la flexibilidad se ha utilizado en estructuras experimentales y ligeras para la organización de eventos y ocio, así como para instituciones, comercio y vivienda.

En particular el diseño arquitectónico flexible tiene como objetivo principal la adaptación y el cambio a las necesidades del usuario y el entorno. Posición contraria a la del diseño arquitectónico tradicional, que en mayor medida se encuentra fijo o estático hacia las necesidades del hombre.

Así pues, la arquitectura flexible se rediseña con el tiempo ya que posee factores que le permiten desarrollar, eliminar, modificar partes de ella, manteniendo la estructura en constante servicio. Los beneficios del diseño arquitectónico flexible incluyen bajo costo, menor impacto ambiental, mayor campo creativo, pero sobretodo permite el desarrollo de una arquitectura de transición y búsqueda de soluciones ingeniosas en momentos de necesidad y escasez como el que vive la humanidad actualmente (Pinto Campos B.C., 2019). En particular, el Manual de Construcción Sostenible busca el uso de sistemas constructivos de edificaciones que permitan la adaptación y cambio de uso en el tiempo de forma sencilla.

VERSIÓN BORRADOR

2.4.

Uso y operación de edificaciones e infraestructura

VERSIÓN BORRADOR

Aunque pareciera que las edificaciones y proyectos de infraestructura durante su operación y uso no tuviesen mucho impacto ambiental, lo cierto es que los consumos de agua y energía, así como la generación y manejo de residuos sólidos, se constituyen en una problemática seria para la sostenibilidad del planeta (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015).

Recientemente, esta situación se agudiza aún más por el incremento de los tiempos de uso y operación de edificaciones residenciales debido a las cuarentenas para evitar la propagación del COVID-19, las continencias ambientales asociadas a la mala calidad del aire urbano, e incluso debido a las protestas sociales que han convertido los hogares en lugares de trabajo y ocio. Por lo anterior, el uso y consumo responsable se convierten en un nuevo paradigma de estilo vida para la sociedad. El consumo responsable es un concepto defendido por organizaciones ecológicas, sociales y políticas que consideran que la humanidad haría bien en cambiar sus hábitos de consumo ajustándolos a sus necesidades reales y optando en el mercado por bienes y servicios que favorezcan la conservación del medio ambiente, la igualdad social y el bienestar de las clases menos favorecidas. El consumo responsable es una manera de consumir bienes y servicios teniendo en cuenta, además de las variables de precio y calidad, las características sociales y laborales del entorno de producción y las consecuencias medioambientales posteriores. Por lo anterior, este manual no solo incorpora herramientas tecnológicas para el manejo y aprovechamiento de RCD, uso eficiente de la energía y agua en edificaciones e infraestructura, sino que además se constituye en una herramienta de formación para los usuarios de edificaciones e infraestructura en la búsqueda de estilos de vida sostenibles.

2.5.

Terminación del ciclo de vida de edificaciones e infraestructura

VERSIÓN BORRADOR

Debido a que las edificaciones e infraestructura están expuestas, no solamente a la acción mecánica de las cargas de servicio; sino también, a otros factores que tienden a deteriorarlas y destruirlas (i.e. acciones físicas, químicas y biológicas), se producen afectaciones que llevan a la terminación del ciclo de vida de una edificación o infraestructura (Sánchez De Guzmán D., 2011).

Por lo anterior, y dependiendo del nivel de daño y recursos económicos, se priorizan las actividades de mantenimiento, reparación, rehabilitación y repotenciación antes que la demolición.

Se priorizan las mencionadas actividades porque con su relativo bajo costo e impacto ambiental, tienen el potencial de incrementar significativamente la vida útil de una edificación e infraestructura. Lo anterior resulta particularmente útil en los centros urbanos donde además se logra la conservación del patrimonio arquitectónico e histórico de las ciudades.

De hecho, la anterior premisa plantea la necesidad de incorporar la flexibilidad arquitectónica o arquitectura transformable en el diseño de las edificaciones e infraestructura,

tal como se indicó previamente en el ítem correspondiente a construcción de edificaciones e infraestructura.

Sin embargo, en los casos que luego de un profundo análisis se encuentre que resulta necesaria la demolición total o parcial de una edificación o infraestructura, el proceso debe hacerse respetando el ambiente y la sociedad. Por lo que resulta imperante plantear la demolición como el proceso opuesto a la construcción y que incluye operaciones secuenciales bien diseñadas. Esta conceptualización del proceso de demolición también es hoy conocida como la deconstrucción (figura 13). En el marco del proceso de deconstrucción, la demolición selectiva se ha convertido en una técnica de gran utilidad para el aprovechamiento de los RCD. Esta técnica de demolición tiene como objetivo principal mejorar las condiciones de clasificación y aprovechamiento en la fuente, extendiendo el ciclo de vida de los materiales de construcción, favoreciendo la reutilización, generando menos residuos cuyo destino final será la disposición final. La técnica que tiene implicaciones importantes en costo y tiempo está compuesta por el desmonte de los acabados arquitectónicos (e.g. pisos, ventanas, puertas), seguido de los sistemas de mecánicos, calefacción, refrigeración y servicios públicos, y finalmente la demolición de la estructura, empezando por la superestructura y luego la cimentación, estos últimos residuos de difícil aprovechamiento por su exposición continua a aguas freáticas y minerales del suelo.

COPRADOR

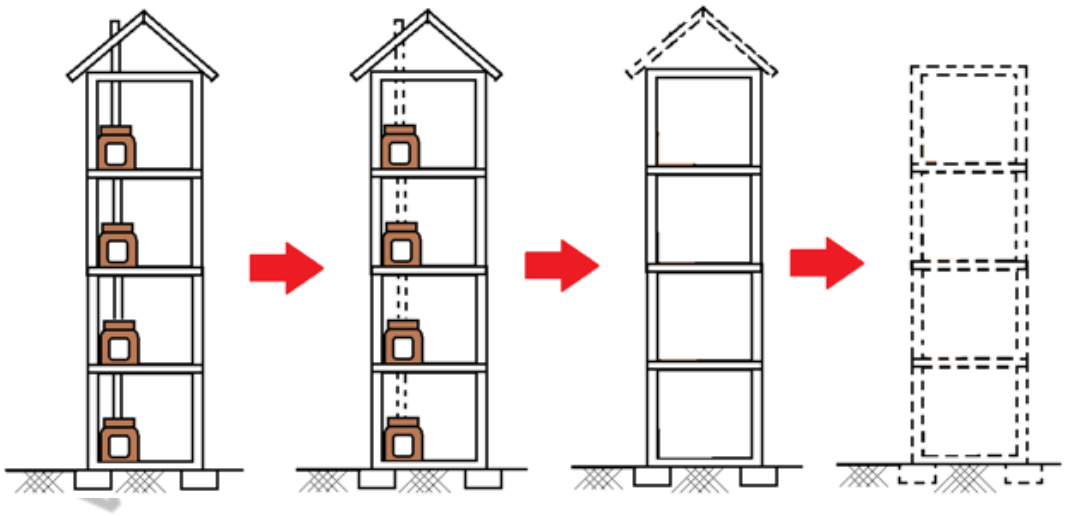


Figura 13. *Secuencia del proceso de deconstrucción.*
Fuente: *adaptado de Pacheco Torgal F. & Jalali S., 2011.*

Aprovechamiento de RCD en el sector de la construcción

El aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición se desarrolla bajo el conocido principio de las 7R (Repensar, Rediseñar, Reusar, Reparar, Remanufacturar, Reciclar y Recuperar), una iniciativa sobre hábitos de consumo, promocionada inicialmente por Greenpeace como 3R (Reducir, Reutilizar y Reciclar), que busca incentivar hábitos como el consumo responsable. Este concepto hace referencia a estrategias para el manejo de residuos que buscan ser más responsables con el medio ambiente, y dando prioridad a la reducción en el volumen de residuos generados antes que la reutilización y reciclaje, procesos que generalmente consumen más energía y por ende tienen un mayor impacto ambiental y económico. Sin embargo, dado que en Santiago de Cali se generan 2659 m³ por día de RCD de los cuales el 96% son aprovechables por su naturaleza cerámica (ACODAL, 2017), este modelo ofrece herramientas específicas para el reciclaje en obra y en el Parque Ambiental y Tecnológico.

En este manual, el reciclaje es concebido como un proceso amigable con el medio ambiente que busca convertir los residuos de construcción y demolición en nuevos productos para su posterior utilización dentro del sector construcción y otros sectores de la economía regional. Gracias al reciclaje se previene el desuso de materiales potencialmente útiles que terminarían dispuestos normalmente de forma inadecuada, o dispuestos con altos costos, y se reduce el consumo de nueva materia prima para la fabricación de materiales de construcción.

Materiales	Industrializado (Kg/m² - %)	Mampostería Estructural (Kg/m² - %)	Mampostería Confinada – Pórticos (Kg/m² - %)
Agregados triturados	542,19 – 42,7	404,05 – 29,3	624,99 – 26,0
Arena de río	445,21 – 35,1	349,09 – 25,3	733,63 - 30,5
Cemento gris	156,74 – 12,4	138,78 – 10,1	306,12 – 12,7
Roca muerta – Tierra de excavación	46,60 – 3,7	152,24 – 11,0	372,52 – 15,4
Cerámica cocida	39,98 – 3,2	301,28 – 21,9	358,08 – 14,9
Acero	26,68 – 2,1	20,31 – 1,5	9,44 – 0,4
Madera	5,02 – 0,40	3,58 – 0,26	0,13 – 0,0
Teja de fibro-cemento	3,15 – 0,25	5,92 – 0,43	-
PVC	2,35 – 0,19	2,06 – 0,15	2,39 – 0,1
Cobre	0,42 – 0,03	0,13 – 0,01	-
Cemento blanco	0,37 – 0,03	0,48 – 0,03	-
Pinturas	0,32 – 0,03	0,55 – 0,04	-

Tabla 7. *Consumo de materiales de construcción según sistema constructivo de Santiago de Cali.*
Fuente: *ACODAL, 2017.*

VERSIÓN BORRADOR

De acuerdo a ACODAL (2017), los sistemas constructivos predominantes en Santiago de Cali son la Mampostería Confinada con Pórticos (46,4%), Prefabricados Industrializados (27,2%), Mampostería Estructural (22,4%) y otros sistemas (4%). Lo cual demanda grandes cantidades de agregados triturados, arena de rio, cemento gris, roca muerta (tierra de excavación), cerámica cocida y acero (tabla 7).

En todos los casos para cualquier sistema constructivo analizado, estos materiales suman más del 99% del consumo total. Lo anterior significa que estos materiales representan, en peso, los principales componentes de una edificación de cualquier tipo de sistema constructivo, siendo estas estructuras similares entre sí, independientes de su localización en la ciudad.

Por lo anterior, con el ánimo de satisfacer la demanda de los anteriores materiales de construcción, garantizado sus propiedades mecánicas y durabilidad junto con la reducción significativa del impacto ambiental, el Modelo de Economía Circular mediante el Parque Ambiental y Tecnológico presenta la siguiente familia de productos:

Agregados reciclados o eco-agregados

Además del uso masivo de agregados en el concreto y mortero, los agregados son utilizados para la generación de superficies permeables, superficies vegetadas (cubiertas y muros verdes), pavimentos (rígidos y flexibles) y SUDS. Los eco-agregados o agregados reciclados son materiales granulares con propiedades físicas, químicas y mecánicas que cumplen con las condiciones de resistencia mecánica y durabilidad para las diferentes aplicaciones descritas.

Eco-concretos y morteros

El concreto y mortero son los materiales de construcción más utilizados en el sector de la construcción regional, nacional y mundial. Los eco-concretos buscan el reemplazo de los componentes más importantes del concreto tradicional como los agregados (finos y gruesos) y cemento portland por agregados reciclados y cementantes suplementarios como las cenizas y escorias, estos últimos sub-productos de otros sectores productivos como las termoeléctricas y la agroindustria.

Eco-prefabricados y Modularización

Estos elementos pertenecen a sistemas de construcción basados en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que se llevan a su posición definitiva para montar la edificación o infraestructura tras una fase de montaje relativamente simple y preciso.

Los eco-prefabricados propuestos en este manual incluyen elementos estructurales (e.g. vigas, columnas losas, pórticos) como elementos no estructurales (e.g. bloques, adoquines, cunetas, bordillos y andenes).

VERSIÓN BORRADOR

Materiales de construcción inteligentes

Son materiales activos y adaptativos que tienen la capacidad de responder de manera autónoma, útil y controlada a cambios en su condición o en el entorno al que están expuestos. Se destacan los concretos y morteros auto-limpiantes y con capacidad de purificar el aire circundante.

Estos materiales incorporando nanoparticulas de dióxido de titanio (TiO2) y utilizando la energía solar (fracción UV-A) pueden generar un proceso fotocatalítico de degradación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto en fase sólida como en fase gaseosa. Han sido utilizados en edificaciones e infraestructura, y actualmente se proyectan armónicamente junto a cubiertas y muros verdes como estrategia de purificación del aire (Castro Hoyos A.M., Rojas Manzano M.A., Maury Ramírez A., 2022). Similarmente, con estímulos externos (e.g. humedad), el uso de bacterias, polímeros y otros componentes, se ha logrado el desarrollo del proceso de autosellado de grietas (autoreparación) en el concreto (Van Tittelboom, K. & De Belie, N., 2013).



Figura 14. *Edificaciones e infraestructura con concretos y morteros con capacidad de auto-limpieza y purificación del aire.*
Fuente: *Maury Ramírez A., 2011.*

BORRADOR

Eco-materiales de construcción

Esta familia de productos incluye productos cuya base principal no es el cemento portland. Se destacan los materiales de construcción que, cumpliendo con las condiciones físicas, químicas, mecánicas y de durabilidad, aprovechan residuos poliméricos, madera, cerámicas, fibrocemento, entre otros materiales demandados por el sector construcción de Santiago de Cali.

Estudio de casos

La familia de productos y metodología propuestas están soportadas principalmente en investigaciones previas desarrolladas en la Maestría en Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali. A continuación se presentan algunos casos de estudio que resultan de gran valor para el Modelo de Economía Circular planteado (figura 15).



Figura 15. *Familia de eco-productos del Parque Ambiental y Tecnológico de Santiago de Cali.*
Fuente: *elaboración propia, 2021..*

BORRADOR

Evaluación de las propiedades mecánicas de concreto fabricado con agregados reciclados provenientes de adoquines.

En este trabajo de grado se evaluó la resistencia a la flexión y compresión de nueve mezclas de concreto (denominadas M1 hasta M9) con reemplazos parciales y totales del agregado natural fino y grueso por agregado reciclado proveniente de la trituración de adoquines de concreto provenientes de la Plaza del Municipio de Almaguer (Cauca). La metodología seguida incluyó cinco fases, desde el muestreo de los agregados hasta la selección de las mezclas de concreto con mejor desempeño mecánico para su utilización en nuevos adoquines.

Los resultados muestran que las mezclas de concreto con reemplazo de un 50% en peso de la fracción fina natural (denominada M2) y 50% en peso de la fracción gruesa natural (denominada M4) cumplen con la resistencia requerida por la NTC-2017 para la fabricación de nuevos adoquines. Aunque se deben investigar técnicas para mejorar la resistencia al desgaste de las mezclas de concreto cuando se usan como adoquines, los porcentajes de uso de agregados reciclados presentados en este proyecto en relación a los reportados en la literatura son muy superiores.

Por lo anterior, la solución planteada en este proyecto no solo tiene el potencial de reducir significativamente el impacto ambiental negativo causado por la disposición inadecuada de residuos de construcción y extracción de recursos no renovables, sino que también tiene el potencial de reducir los costos de proyectos de construcción (Bravo German A.M. & Bravo Gómez I.D., 2018).

Análisis experimental de las propiedades mecánicas del concreto de alta resistencia fabricado con agregados reciclados de concreto.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del reemplazo parcial del agregado grueso natural por Agregado Reciclado de Concreto (ARC), en las propiedades mecánicas del Concreto de Alta Resistencia (CAR). Para alcanzar los objetivos planeados, se desarrolló una metodología experimental compuesta por cinco etapas, que incluye: la selección de los Residuos de Concreto (RC) y posterior producción del ARC, la caracterización de los materiales utilizados, la fabricación de los concretos con diferentes contenidos de ARC (0, 10, 20 y 40%), la determinación de las propiedades en estado fresco y endurecido de dichos concretos y, finalmente, el análisis de los resultados. Se concluyó que los ARC cumplen con las especificaciones de la normativa colombiana para agregados y que es posible la fabricación de concretos de alta resistencia.

Además, la incorporación del agregado reciclado tuvo un efecto positivo en las propiedades mecánicas y las relacionadas a durabilidad de los concretos, siendo que el remplazo parcial del 40% de ARC en relación al peso del agregado grueso, presentó el mejor desempeño.

De esta manera, se viabiliza el uso de este residuo como material de construcción, lo que impacta positivamente al medio ambiente, al disminuir la explotación de los recursos naturales no renovables (Diosa Arenas J.S., 2020).

VERSIÓN BORRADOR

Comportamiento mecánico de elementos prefabricados de concreto con agregados reciclados dentro de la fuente que los genera.

Este proyecto desarrolló el diagnóstico de los residuos de construcción generados en obras civiles del área urbana del municipio de Pereira, de tal forma que una vez clasificados en obra, puedan ser incorporados en elementos prefabricados de concreto en la misma fuente donde se generan, brindando de esta manera un aporte a la reducción en la explotación del recurso natural, a la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero y a menores requerimientos en áreas de terrenos para la disposición de residuos no aprovechados.

En el desarrollo del proyecto, se clasificaron y cuantificaron los residuos de construcción de tres obras piloto en la ciudad de Pereira. A partir de esto, se reciclaron componentes provenientes de concretos y de agregado natural, a los cuales se les determinaron las propiedades más relevantes de carácter físico y mecánico, mediante ensayos de laboratorio. Se realizaron con estos agregados reciclados, nuevas mezclas de concreto, cuyo comportamiento mecánico se estableció mediante ensayos de resistencia a compresión y a flexión. Los costos de producción del agregado reciclado obtenido dentro de la fuente donde se generaron, fueron revisados y comparados con los precios del mercado, involucrando las actividades desde la fase inicial del proceso de clasificación. Con varias muestras de estas mezclas se elaboraron algunos elementos prefabricados y se analizó su comportamiento mecánico. Se estableció finalmente el grado de viabilidad técnica y económica para el uso de estos agregados reciclados dentro de las mismas obras de construcción de donde se obtuvieron, y circunscritas a las condiciones locales de la región aferente al Municipio de Pereira (Londoño Alarcón J.A., 2016).

Evaluación del efecto del reemplazo parcial de cemento portland por ceniza de la industria del papel en morteros y muretes.

Las cenizas volantes provenientes de la combustión del carbón en el proceso de fabricación de la empresa Propal Carvajal fueron utilizados para esta investigación por poseer propiedades físicas y químicas que las hace adecuadas para su reutilización como sustitutos de las materias primas para morteros modificados, probándose el caso de la sustitución del cemento portland, evaluando el efecto que este reemplazo tiene sobre las propiedades físicas y mecánicas del mortero. La investigación abordó desde la caracterización de las materias primas que constituyen el mortero, determinación de las propiedades mecánicas del mortero como la resistencia a la compresión hasta llegar a la evaluación del mortero modificado como material de unión para los muretes. Este estudio demostró que al reemplazar el cemento en porcentajes mayores al 10% de cenizas volantes se obtiene una mezcla con mayor trabajabilidad pero menor resistencia en relación al mortero tradicional. Se concluye que es mecánicamente viable el uso de ceniza proveniente de la industria del papel para la preparación de morteros, toda vez que este material se emplee en mampostería de bloques convencionales (Hurtado Portocarrero I.A., 2019).

Evaluación de cubiertas verdes semi-intensivas con capas de drenaje elaboradas con materiales reciclados y reutilizados.

En esta investigación se evaluó mediante prototipos a escala, el desempeño hidráulico, térmico, mecánico, impacto en cargas muertas y costos asociados a cuatro sistemas de cubiertas verdes semi-intensivas en los que se utilizaron materiales reciclados (caucho y bandeja PEAD) y reutilizados (botellas PET) para el sistema

VERSIÓN BORRADOR

de drenaje y se compararon con el sistema de drenaje convencional que utiliza agregado de origen natural (grava basalto). Para las condiciones evaluadas, los resultados muestran que algunos sistemas pueden ser más útiles cuando la aplicación tenga la intención de reducir la temperatura y otros, cuando sea la retención de agua. Además, ponen en manifiesto el potencial de reducir las cargas muertas y costos de las cubiertas verdes tradicionales cuando se utilizan materiales reciclados y reutilizados (Naranjo Mejía A., 2017).

Diseño de un sistema para generar purificación del aire y auto-limpieza en las superficies del túnel de la Avenida Colombia (Santiago de Cali).

La contaminación atmosférica tiene un efecto negativo directo sobre la calidad de vida de las personas y los ecosistemas (incluyendo la infraestructura). Dado que a nivel urbano una de las principales fuentes de generación de contaminantes son los vehículos, diferentes estrategias para la reducción del uso de vehículos se vienen implementando sin mucho éxito. Por tal motivo, en este proyecto se plantea el diseño de un sistema para generar purificación del aire y auto-limpieza en un caso puntual, en las superficies del túnel la avenida Colombia (Santiago de Cali) utilizando la fotocatálisis del dióxido de titanio. Se diseñó un mortero que cumpla con las exigencias de la normativa colombiana, recreando el material que reviste al túnel, material que fue sometido a diferentes pruebas de laboratorio con el fin que cumpliera con las especificaciones de un mortero para este uso. Se realizó la evaluación de la efectividad del TiO2 como fotocatalizador. Fue necesario estimar la concentración de los distintos agentes contaminantes presentes dentro del túnel, para lo cual se usó un modelo mediante la metodología Street Canyon desarrollada en la Universidad de Stanford, y se estimaron concentraciones para dióxidos nitrosos, dióxidos de azufre, monóxido de carbono e hidrocarburos totales, posterior a eso se evaluó el porcentaje de remoción de contaminantes mediante el análisis con el software ImageJ para dos modalidades de aplicación, como adición y como recubrimiento, en donde se estimó la remoción de dos colorantes artificiales Azul de Metileno y Rodamina B, que simulan ser los contaminantes. El análisis permitió estimar buenos porcentajes de remoción de contaminantes, así como una reducción considerable frente a las concentraciones de contaminantes estimadas mediante el modelo, con lo que permite afirmar la efectividad del TiO2 como fotocatalizador en un sistema de purificación de aire y autolimpieza, y permitió hacer un estimado del costo de implementación para el caso puntual del túnel de la Avenida Colombia de Santiago de Cali (Medina Medina A.F. et al., 2016).

VERSIÓN BORRADOR

Sistema de gestión de RCD

El reciclaje de residuos de construcción y demolición no es una técnica sustancialmente nueva en el sector de la construcción, los primeros reportes científicos modernos datan de la década de los 40's en Europa central, con un incremento sustancial en la década de los 70´s por las investigaciones desarrolladas por la Sociedad de Contratistas de la Construcción y el Ministerio de Obras del Japón debido a la crisis del petróleo. Hoy en día este país asiático cuenta con sistema de aprovechamiento completo de RCD, principalmente para pavimentos flexibles en

subbases. Por su parte, en Taipei está creciendo el interés por el aprovechamiento de residuos del concreto, estimándose que cerca del 90% se recuperan, con un aprovechamiento del 95% para el concreto viejo. En Holanda y Finlandia se ha creado una legislación robusta que permite que casi todos los RCD sean aprovechados, con algunas excepciones en la fase de producción. Más recientemente, 38 estados de Estados Unidos han aprobado el uso de agregados reciclados en subbases viales y 11 estados lo permiten en concreto nuevo. Por su parte, Brasil ya cuenta con plantas para el reciclaje de RCD, particularmente en Belo Horizonte y Sao Paulo.

Aunque existen grandes diferencias entre el norte, centro y sur de Europa, por su avance legislativo y tecnológico en el aprovechamiento (reutilización y reciclaje) de los RCD, esta región resulta de gran interés para el mundo (figura 16).

Precisamente la comunidad europea que contaba con un aprovechamiento del 28%, pretendía llegar en el año 2020 a un aprovechamiento promedio del 70% para los 15 estados miembros (Knauf GmbH España, 2013).

Teniendo en cuenta lo anterior, el modelo de Economía Circular propone la norma europea EN 12620 (2002) para la clasificación de residuos de construcción y demolición. Esta norma de mayor nivel de detalle que la Resolución 472 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017), permite un mejor aprovechamiento de los RCD, precisamente para el cumplimiento de las metas establecidas en el Decreto Municipal 771 de 2018. Esta norma está basada en 8 grupos de residuos principales y 7 categorías que indican la composición del grupo principal. Más detalles sobre la clasificación EN 12620 se encuentran en las tablas 8 y 9.

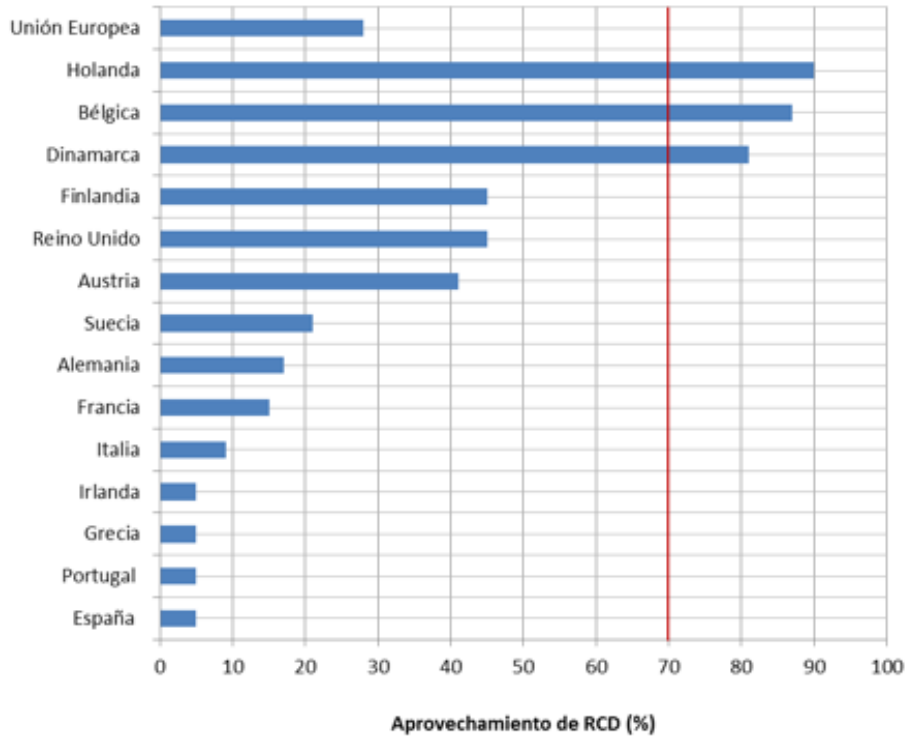


Figura 16. *Aprovechamiento de residuos de la construcción en la Unión Europea.*
Fuente: *Knauf GmbH España, 2013.*

Grupo	Descripción
R_c	Concreto, Productos de Concreto, Mortero, Bloques de Concreto
R_u	Agregado Natural, Agregado Reciclado limpio (sin mortero)
R_b	Ladrillos, Baldosas, Unidades de Mampostería, Concreto Celular No Flotante
R_a	Material Bituminoso
R_g	Vidrio
FL_s	Material Rocoso Flotante (<1 mg/m^3)
FL_{ns}	Material No Rocoso Flotante (<1 mg/m^3)
X	Otros: Material Cohesivo (suelos y arcillas), Metales, Plástico, Caucho, Madera No Flotante

Tabla 8. *Clasificación de RCD de acuerdo a la Norma Europea EN 12620.*
Fuente: *Norma Europea EN 12620.*

Componente	Contenido (% en peso)	Categoría
R_c	≥90	R_c 90
	≥70	R_c 70
	<70	R_c D
	Sin requisito	R_c SR
$R_c + R_u$	≥90	R_{cu} 90
	≥70	R_{cu} 70
	≥50	R_{cu} 50
	<50	R_{cu} D
	Sin requisito	R_{cu} SR
R_b	<10	R_b 10
	<30	R_b 30
	<50	R_b 50
	>50	R_b D
	Sin requisito	R_b SR

Componente	Contenido (% en peso)	Categoría
R_a	<1	R_a 1-
	<5	R_a 5-
	<10	R_a 10-
$FL_s + FL_{ns}$	<1	$FL_{total}1$
	<3	$FL_{total}3$
FL_{ns}	<0,01	$FL_{ns}0,01$
	<0,05	$FL_{ns}0,05$
	<0,1	$FL_{ns}0,1$
$X+R_g$	<0,2	$XR_g0,2$
	<0,5	$XR_g0,5$
	<1,0	XR_g1

Tabla 9. *Composición detallada de los grupos de RCD de acuerdo a la Norma Europea EN 12620.*
Fuente: *Norma Europea EN 12620.*

2.6.

Parque Ambiental y Tecnológico

VERSIÓN BORRADOR

El Parque Ambiental y Tecnológico de Santiago de Cali es un eje central del aprovechamiento de RCD y contará para el desarrollo del portafolio de productos con una tecnología modular y flexible que fundamentalmente busca la obtención de los agregados reciclados a partir de los RCD. Por lo anterior, el proceso que busca la separación de materiales debe seguir las etapas presentadas en la figura 17.

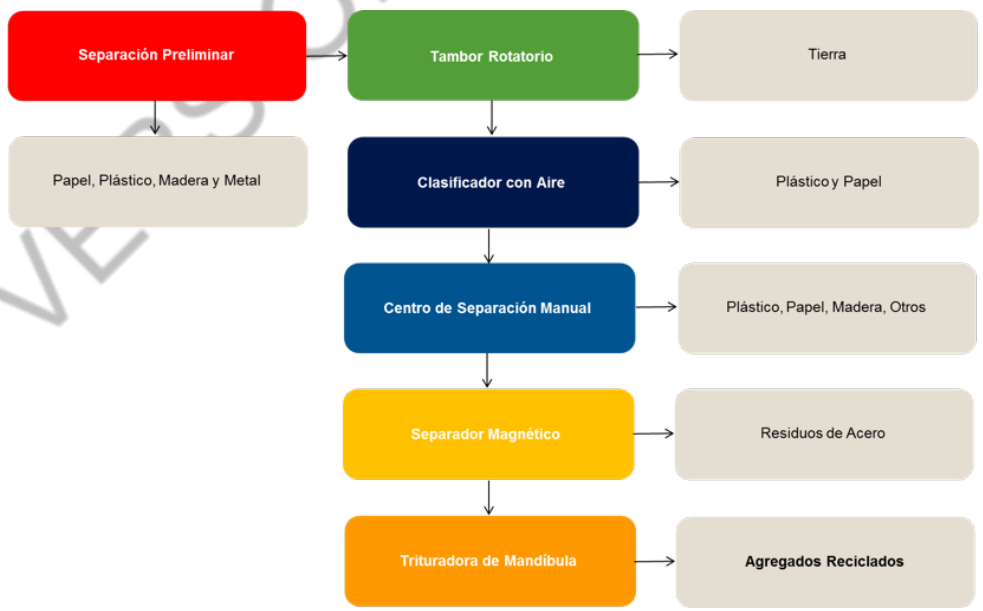


Figura 17. *Proceso de separación para la producción de agregados reciclados a partir de RCD.*
Fuente: *Pacheco Torgal F. & Jalali S., 2011.*

Además del proceso de separación para la producción de agregados reciclados, se incluye en el Parque Ambiental y Tecnológico un laboratorio de materiales para la adecuada caracterización física, química, mecánica, durabilidad, y otras propiedades de los eco-productos desarrollados. Este laboratorio estará articulado a la red de laboratorios de universidades de la región quienes cuentan con amplia experiencia en innovación e investigación aplicada.

Para lograr lo anterior, se desarrollan primero la fase de caracterización física, química, y mecánica de cada uno de los componentes de mezcla, destacándose la caracterización de los agregados provenientes de RCD, cenizas, escorias y por ejemplo nuevos componentes como los nanomateriales. Con base en esta información y utilizando los métodos de diseño de mezcla ampliamente reconocidos en Colombia e internacionalmente, se procede a realizar el diseño y fabricación de mezclas de prueba. Posteriormente, se realiza la evaluación de las propiedades en estado fresco de las mezclas de prueba mediante ensayos de consistencia, plasticidad o fluidez. Cuando dichas mezclas satisfacen las condiciones de colocación del producto para concretos y morteros fundidos in-situ, o para productos prefabricados, se procede a realizar la evaluación mecánica y durabilidad en el estado endurecido de acuerdo a las demandas de la edificación o infraestructura. De igual modo, en el caso de los materiales de construcción inteligentes, por ejemplo se evalúan las propiedades autonómicas como auto-limpieza y purificación del aire (figura 18).



Figura 18. *Evaluación técnica para el desarrollo de productos en el Parque Ambiental y Tecnológico de Santiago de Cali.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Aunque los métodos de diseño de mezclas sirven de guía para un adecuado proporcionamiento de los componentes, el proceso de diseño con agregados reciclados demanda un recurrente ajuste en función de las características en estado freso y propiedades en estado endurecido hasta la obtención del diseño de mezclas y proceso de fabricación definitivos.

La confiabilidad de los resultados está basada en el diseño experimental que utiliza la comparación con mezclas de concreto y mortero, que utilizando agregados naturales y cemento convencional, cumplan con los mismos requerimientos mecánicos y durabilidad. Asimismo, la utilización de ensayos y pruebas estandarizados por entidades de amplio reconocimiento mundial y local como son el American Concrete Institute (ACI), International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM), Norma Técnica Colombiana (NTC) y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Además de la evaluación técnica, con el ánimo de garantizar la sostenibilidad de los productos, se desarrollará su respectivo análisis del ciclo de

VERSIÓN BORRADOR

vida (ACV), herramienta de diseño que investiga y evalúa los impactos ambientales y sociales de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia: extracción, producción, distribución, uso y fin del ciclo de vida.

El ACV es por tanto una metodología empleada en el estudio del ciclo de vida de un producto y de su proceso de producción, con el fin de evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos (energía, agua y materiales) y emisiones ambientales al aire, agua y suelo asociados con el sistema que se está evaluando.

De acuerdo con las normas ISO 14040—14043, el ACV consta de cuatro etapas:

1. Definición del objetivo y alcance.
2. Creación del inventario.
3. Evaluación del impacto.
4. Interpretación de los resultados (figura 19).

La primera etapa de un ACV es la definición del objetivo y el alcance. El objetivo de un estudio de ACV debe estar claramente definido, incluida la aplicación y el uso previsto de los resultados y usuarios (público objetivo). Los objetivos de un estudio de ACV son, por ejemplo, comparar dos o más productos que cumplen la misma función (e.g. concreto con agregados naturales y concreto con agregados reciclados), para identificar posibilidades de mejora de productos existentes o incluso innovación y diseño de nuevos productos.

Por su parte, la determinación del alcance de un estudio de ACV establece los límites de la evaluación. Por ejemplo, incluye el sistema modelado y los métodos de evaluación. Los siguientes elementos deben describirse claramente en la definición del alcance: el sistema a estudiar y su función, la unidad funcional, las fronteras del sistema, los tipos de impacto y la metodología de evaluación de impacto, requisitos de calidad de los datos, supuestos y limitaciones (Pacheco Torgal F. et al, 2013).

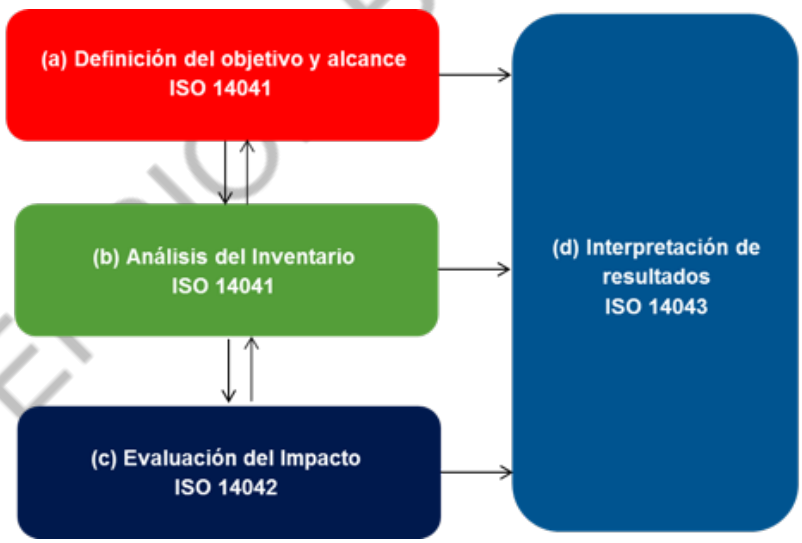


Figura 19. *Etapas y normas para el desarrollo del análisis del ciclo de vida del portafolio de materiales de construcción.*
Fuente: *Pacheco Torgal F. et al, 2013*

VERSIÓN BORRADOR

El análisis del inventario es la segunda etapa en un ACV. Esta implica procedimientos de recopilación y cálculo de datos para cuantificar las entradas y salidas relevantes del sistema de un producto. Estas entradas y salidas incluyen el uso de recursos, emisiones al aire, agua y suelo, y generación de residuos asociados al sistema. El análisis del inventario debe estar soportado en un árbol de procesos (diagrama de procesos, árbol de flujos) que define las fases en el ciclo de vida de un producto (figura 20).

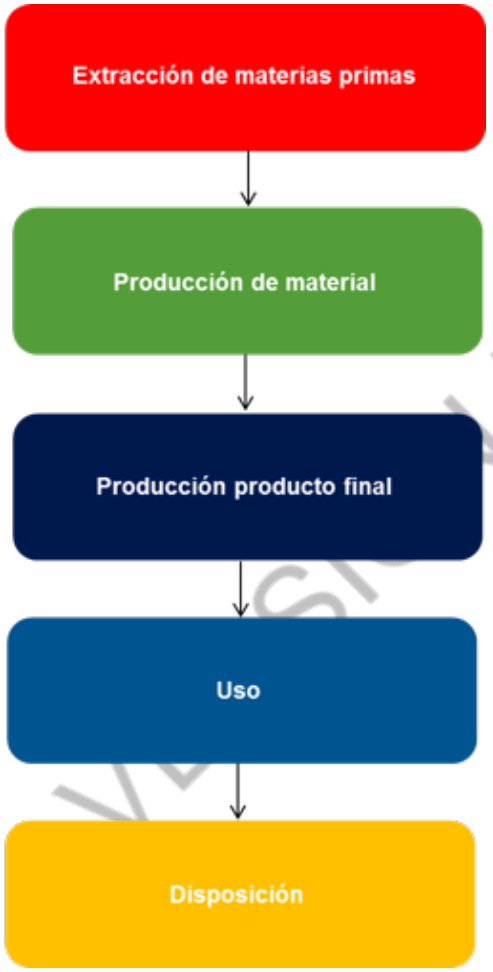


Figura 20. *Ejemplo de un diagrama de flujo usado como soporte en el análisis del inventario.*
Fuente: *Pacheco Torgal F. et al, 2013.*

Cada una de las diferentes fases puede estar compuesta de los diferentes procesos unitarios, por ejemplo, producción con diferentes tipos de materias primas para combinar en la fase de producción del material. Las diferentes fases a menudo están conectadas por procesos de transporte. Los datos sobre consumo de materiales, agua y energía, residuos y emisiones deben recopilarse para todas las unidades de proceso del ciclo de vida de un producto. Los datos pueden ser específicos del lugar (de empresas específicas, áreas específicas o países específicos) o más generales, como organizaciones comerciales o encuestas públicas. Para estudios de ACV detallados, se deben utilizar datos específicos del lugar. Los datos promedio (de organizaciones comerciales, de investigaciones previas del mismo producto o similar) se pueden utilizar para ACV conceptuales o simplificados. Sin embargo, esta etapa suele ser la que más trabajo requiere, especialmente si los datos específicos del lugar son necesarios para todas las unidades de procesos del ciclo de vida del producto (Pacheco Torgal F. et al, 2013).

La evaluación de impacto es la tercera etapa de un ACV. En esta etapa se evalúan los potenciales impactos ambientales del sistema modelado. Esta etapa consta de tres elementos obligatorios:

1. Selección de las categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos de caracterización.
2. Clasificación.
3. Caracterización.

Las categorías de impacto se seleccionan para describir los impactos causados por el producto analizado o la familia de productos.

Este es un seguimiento de las decisiones tomadas en la fase de determinación del objetivo y el alcance. Algunas de las categorías de impacto que se suelen considerar se encuentran son: consumo de fuentes no renovables, consumo de agua, potencial de calentamiento global, potencial

VERSIÓN BORRADOR

Categoría de impacto ambiental	NIST	EPA
Calentamiento global	29	16
Acidificación	3	5
Eutrofización	6	5
Consumo de combustibles fósiles	10	5
Calidad del aire en interiores	3	11
Alteración de hábitats	6	16
Consumo de agua	8	3
Contaminación del aire	9	6
Formación de Smog	4	6
Eco-toxicidad	7	11
Destrucción de capa de ozono	2	5
Salud humana	13	11
Sumatoria	100	100

Tabla 10. *Categorías de impacto ambiental y su peso relativo para el análisis del ciclo de vida de los materiales de construcción.*
Fuente: *EPA & NIST. 2010.*

de reducción de la capa de ozono, potencial de eutrofización, potencial de acidificación, potencial de formación de smog, toxicidad humana (cancerígena y no-cancerígena), toxicidad ecológica, generación de residuos, uso del suelo, contaminación del aire, alteración de hábitats.

Aunque hasta la fecha no hay consenso para una sola lista predeterminada de categorías de impacto o para un solo modelo de caracterización, lo cual puede ser congruente con las necesidades de los ecosistemas locales, la Environmental Protection Agency (EPA) y el National Institute of Standards and Technology (NIST) de los Estados Unidos proponen para el análisis del ciclo de vida de los materiales de construcción las siguientes categorías de impacto y su peso relativo (tabla 10).

Además de los elementos presentados en esta etapa, es posible incluir algunos elementos adicionales como: normalización, agrupación y análisis de la calidad de los datos.

Es una clasificación cualitativa o cuantitativa, caracterización y evaluación de impactos a ecosistemas, salud humana y recursos naturales basados en los resultados del análisis de inventarios. Finalmente, la interpretación es la cuarta fase del ACV, la que contiene los siguientes aspectos principales: identificación de problemas ambientales significativos, evaluación de resultados con el objetivo de establecer su confiabilidad (integridad, sensibilidad y coherencia), conclusiones y recomendaciones.

VERSIÓN

VERSIÓN BORRADOR

VERSIÓN BORRADOR

Eficiencia y ahorro de agua

TOMO II | Capítulo 3

ÍNDICE DE CONTENIDO

TOMO II | Capítulo 3

		Pág.
A.	**CONTEXTO**	305
B.	**OBJETIVOS**	306
C.	**MARCO NORMATIVO DE REFERENCIA**	307
	- Antecedentes	

		Pág.
3.1.	**IDENTIFICACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA**	312
	Definiciones de consumo (AA.1. - AA.2. - AA.3. - AA.4.)	316
	- Línea base para tipologías de la Resolución 0549 de 2015 - Estimación de referencias para otras tipologías fuera de la Resolución 0549. - Indicadores relacionados al impacto del edificio.	
	Exigencias y valores de alcances del componente agua del Manual de Construcción Sostenible para la obtención del SCCS.	319
	- Exigencias del componente agua para el manual de construcción sostenible para la etapa de utilización de la edificación sostenible para la obtención del Sello Cali Construye Sostenible SCCS.	
3.2.	**REDUCCIÓN DE CONSUMO DE AGUA POTABLE**	322
	- **Uso eficiente interiores - eficiencia en equipos (AA.1.1. - AA.1.2.)**	322
	- **Uso eficiente en exteriores - aseo y riego (AA.1.3. - AA.2. - AA.3.)**	328
3.3.	**APROVECHAMIENTO Y MANEJO DE AGUAS LLUVIAS**	337
	- Manejo de escorrentías (AA.3.) - Reducción de escorrentías - Áreas exteriores - Niveles de reducción de consumos por utilización de aguas lluvias (AA.3.)	
3.4.	**REDUCCIÓN DE IMPACTO DE AGUAS SERVIDAS — VERTIMIENTOS**	347
	- Tratamiento de aguas servidas (AA.4.) - Cálculo de desempeño global de eficiencia en agua de edificios (AA.1. - AA.2. - AA.3. - AA.4.)	
3.5.	**INCENTIVOS TRIBUTARIOS**	353
	- Incentivos nacionales - Incentivos locales	
	TÉRMINOS Y DEFINICIONES	354

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumos por comunas y estratos socio económicos Litros por habitante por día.
Tabla 2. Aplicabilidad y marco de referencia del componente Agua del Manual de Construcción Sostenible de Santiago de Cali.
Tabla 3. Exigencias y valores de aplicabilidad del componente Agua del Manual de Construcción Sostenible para la fase de utilización de la edificación.
Tabla 4. Consumo mínimo para uso educativo.
Tabla 5. Consumo dotación de agua potable para uso residencial por habitante.
Tabla 6. Consumos máximos aparatos.
Tabla 7. Ejemplo de información requerida para el cálculo de diseño.
Tabla 8. Aparatos sanitarios recomendados en la Resolución 0549 para el método prescriptivo comparados con equipos estudiados en este manual para ahorros adicionales.
Tabla 9. Periodo de retorno según tabla 2 de EMCALI para aguas lluvias.
Tabla 10. Coeficientes de impermeabilidad.
Tabla 11. Métodos naturales de tratamiento de aguas grises.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Objetivos componente agua.
Figura 2. Consumo de agua por sectores en la ciudad de Santiago de Cali 2015.
Figura 3. Huella hídrica por sector y por tipo de sectores en la ciudad de Santiago de Cali 2015.
Figura 4. Ciclo natural del agua versus ciclo del agua en las ciudades sin practicas sostenibles.
Figura 5. Ejemplo flujo de consumo de agua convencional residencial.
Figura 6. Flujo consumo de agua con reutilización residencial.
Figura 7. Ciclo uso de agua en edificaciones convencionales versus ciclo del uso agua en edificaciones con practicas sostenibles.
Figura 8. Huella hídrica del sector de servicios públicos en la ciudad de Santiago de Cali 2015.
Figura 9. Consumos de agua por aparatos en vivienda VIS en Santiago de Cali.
Figura 10. Consumos de agua por aparatos en vivienda > 435 SMMLV en Santiago de Cali.
Figura 11. Consumos de agua por aparatos en centros comerciales en Santiago de Cali.
Figura 12. Consumos de agua por aparatos en colegios en Santiago de Cali.

Figura 13. Protección de sumidero con geotextil.
Figura 14. Protección de sumidero de aguas lluvias contra sedimentación y material particulado de obra.
Figura 15. Niveles de densidad del paisajismo.
Figura 16. Factor de microclima. Alto Izquierda, bajo Derecha.
Figura 17. Evapotranspiración.
Figura 18. Ejemplo de aviso de agua no potable para usos distintos al consumo humano.
Figura 19. Ejemplo de grifería, sin llave accesible al publico general y señal de aviso de agua no potable para usos distintos al consumo humano.
Figura 20. Ejemplo de sistema sencillo de aprovechamiento de aguas lluvias para riego, con almacenamiento de aguas lluvias, malla de filtrado de partículas y mallas para control de insectos.
Figura 21. Prácticas de consumo ineficiente de agua para riego de exteriores: riego por manguera.
Figura 22. Prácticas de consumo ineficiente de agua para riego de exteriores por riego por aspersión generalizada sobre plantas gran parte se queda en las hojas y no en el suelo.
Figura 23. Riego por microaspersión.
Figura 24. Riego por goteo en materas interconectadas.
Figura 25. Riego por goteo.
Figura 26. Riego por micro aspersor.
Figura 27. Ejemplo de especies nativas de los Farallones de Cali.
Figura 28. Ejemplo de uso de mantos orgánicos que retienen mayor humedad.
Figura 29. Ejemplo de perdida de agua de riego por escorrentía por áreas vegetadas no limitadas de las áreas impermeables.
Figura 30. Ejemplo de jardín delimitado de las áreas impermeables para reducción de escorrentías, jardín de infiltración.
Figura 31. Ejemplo de jardín con agrupación de plantas por requerimientos de agua.
Figura 32. Esquema configuración de sistema de reutilización de aguas lluvias.
Figura 33. Esquema de ciclo de reutilización de aguas lluvias a través de un balance hídrico.
Figura 34. Modelo esquemático de reutilización de aguas lluvias.
Figura 35. Mapa de isoyetas con precipitaciones anuales promedio en el casco urbano de Santiago de Cali y zona de expansión.
Figura 36. Enfoque de captación y reutilización de aguas lluvias del presente Manual.
Figura 37. Ejemplo de sistema natural de depuración por cámaras de flotación, depuración y decantación.
Figura 38. Ejemplo de sistema natural de depuración por trampa de grasas, flotación y biofiltración.
Figura 39. Esquema de reutilización de aguas grises tratadas.
Figura 40. Esquema de ciclo de reutilización de aguas (lluvias y grises) a través de un balance hídrico.

VERSIÓN BORRADOR

A.

Contexto

La preservación del recurso hídrico, nace de la preocupación a nivel mundial de la disminución de fuentes potables de aguas dulces, crecimiento de la población y su transformación a una sociedad cada vez más urbana y menos rural, situación que está generando una presión sobre las fuentes y cuerpos de agua, de la que dicha demanda se prevé se incrementará, según estimaciones basadas en los consumos actuales del orden de un 55% para el 2050 según Naciones Unidas (UN – Naciones Unidas, 2018) y como un factor primordial de afectación por el cambio climático; siendo parte de dicha preocupación, la inclusión de aspectos relacionados con el recurso hídrico en 2015 en los objetivos de desarrollo sostenible — ODS, por las Naciones Unidas, para la adopción por parte de los estados miembros, incluido Colombia, dentro de los que se destacan por su afectación y relación en este recurso: ***3.-salud y bienestar, 6.- Agua limpia y saneamiento; 11.- ciudades y comunidades sostenibles y 13 acción por el clima***.

Aunque Colombia tiene una riqueza amplia en fuentes hídricas, su uso para el consumo humano y disponibilidad en los centros poblados, se ha venido reduciendo cada vez más, sumado al impacto incrementado por el cambio climático y la creciente presión de industrias de extracción como la minería, está generando su disminución y deterioro e incluso sequias en fuentes de dicho recurso para el aprovisionamiento, como la vivida en 2016 a lo largo del territorio nacional y con uno de los mayores impactos en el departamento del Valle del Cauca, la cual fue categorizada como extrema, con valores históricos de casi el 85%, que como se describe en el reporte del avance del estudio nacional del agua de 2018 (IDEAM – Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2019) denotó que el Valle del Cauca es susceptible a un desabastecimiento en torno a un 50% y reducción de la calidad del agua relacionada a distintas actividades humanas, como los impactos químicos de minería, agricultura, entre otros. Adicionalmente, El foro económico mundial clasifica la crisis del agua como el cuarto factor en términos de impacto en la sociedad y se estima se incremente por consecuencia el cambio climático.

Con dichos precedentes, el gobierno nacional de Colombia, alineándose con los objetivos de desarrollo (ODS) de la ONU, firmó en marzo de 2018, el compromiso de definir metas, para garantizar el cumplimiento de los mismos, a partir de 16 desafíos principales, que se compilan en el documento Conpes 3918 de 2018 y de las que el Departamento Nacional de Planeación — DNP crea la Política de Crecimiento Verde, a través del Conpes 3934 de 2018, que con el objetivo de: "llevar al país a una transición hacia un modelo económico más sostenible, competitivo e inclusivo, se implementará durante un horizonte de tiempo de 13 años (2018- 2030) mejorando la eficiencia en el uso del agua" (Departamento Nacional de Planeación – DNP, 2018).

Con este panorama reciente, el objetivo este Manual busca contribuir de manera directa a dichos objetivos nacionales y mundiales, por medio de este componte relacionado con el recurso hídrico, para el uso racional y eficiente del agua en edificaciones.

VERSIÓN BORRADOR

B.

Objetivos

VERSIÓN BORRADOR

- Reducir el consumo y demanda de agua potable y mejorar la eficiencia en su uso.
- Reducir el impacto sobre los afluentes mediante la reducción de los impactos de aguas servidas y vertimientos sobre los sistemas de alcantarillados.
- Promover el aprovechamiento y reciclaje de agua distinta al agua potable (lluvias y grises).
- Promover un uso más sostenible del agua y su ciclo natural.

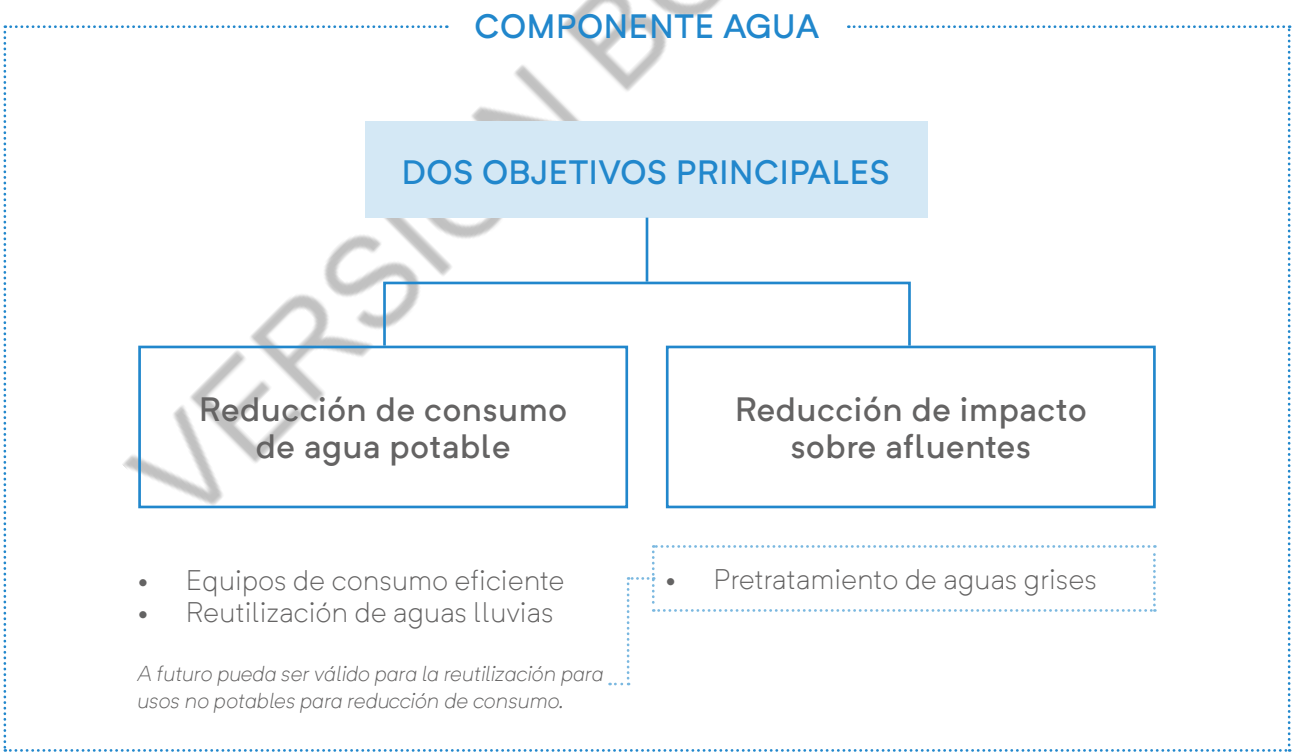


Figura 1. *Objetivos componente agua.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

C.

Marco normativo

VERSIÓN BORRADOR

Ley 373 de 1997.
"Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua".

Guía de ahorro y uso eficiente del agua de 2002.
La Dirección General Sectorial del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial publicó dicha guía e incluyó estrategias para el ahorro y uso eficiente del agua.

Política de Gestión Ambiental Urbana de 2008.
Por medio esta política, el Gobierno Nacional de Colombia a través del Ministerio de Ambiente, se propuso promover uso eficiente del agua, con el objetivo de promover la implementación de programas del uso eficiente y racional del recurso hídrico en las áreas urbanas.

Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, 2010.
Política para la adecuada gestión de este recurso en el país, con 2 objetivos principales: el uso eficiente y sostenible del agua y la reducción de la contaminación del recurso, se expide en 2012 por 12 años hasta 2022.

Resolución 1207 de 2014.
Derivada de la política de 2010 mencionada, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible promueve la reutilización de aguas residuales tratadas, como parte de la estrategia para el Uso Eficiente y la Disminución de la Contaminación del Recurso Hídrico.

Acuerdo 0373 de 2014 - Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cali POT. De la ciudad de Santiago de Cali. Artículo 96 plan de manejo de aguas subterráneas.
A nivel Municipal y Distrital, se viene promoviendo iniciativas, estudios y políticas encaminadas a alinearse a dichos intereses nacionales en cuanto a un manejo más eficiente del recuro hídrico, resultado de ello, en el artículo 14 del POT de 2014, para la reducción de la huella ecológica, artículo 105 para adaptación al cambio climático, artículo 106 sobre construcción sostenible y la elaboración de un manual en dicha línea que incorporara el ahorro de agua, reutilización de aguas, tratamiento de aguas residuales y aprovechamiento de aguas lluvias y/o aguas condensadas.

De cumplimiento con la exigencia, con el fin de preservar las aguas subterráneas, que salvo

derechos adquiridos, están contempladas en la norma nacional como bienes inalienables e imprescindibles del Estado, por tanto es un recurso natural por el cual se debe propender su conservación y uso razonable.

Decreto 1285 de 2015.
El Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio para dicha época, emite los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones, de la que se deriva la Resolución 0549 de 2015.

Resolución 0549 de 2015.
Por medio de la cual busca la reducción de consumo y ahorro de agua y energía en edificaciones, para entrar en vigencia desde 2016 en las 4 ciudades principales del país: Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla y posteriormente a todo el territorio nacional.

Decreto 1090 y Resolución 1257 de 2018.
El Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible expidió la "Guía para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua", con el objetivo del uso eficiente del recurso hídrico y aprovechamiento de aguas distintas a las de fuente potable.

Estudio de la Huella ecológica de la ciudad de Santiago de 2016.
Realizada por la municipalidad de la ciudad en conjunto con Servicios Ambientales S.A. –SAS (2016) en alianza institucional entre CAF–banco de desarrollo de América Latina, CDKN–Alianza Clima y Desarrollo, AFD– Agencia Francesa de Desarrollo–, FFLA –Fundación Futuro Latinoamericano– y SASA –Servicios Ambientales S.A.

ANTECEDENTES

El último estudio de la huella hídrica de la Ciudad de Santiago de Cali, (Alcaldía de Santiago de Cali, 2016) indicó como resultado de huella hídrica, que entre los sectores de consumo de agua el mayor es el residencial con casi un 73% del consumo total de la ciudad, siendo este un factor determinante al momento de enfocar políticas al ahorro del consumo de agua, pero adicionalmente dicho estudio mostraba como el 14% de huella hídrica de aguas grises del alcantarillado, no se trataba por la planta de tratamientos de la ciudad y por lo tanto se vertía sobre afluentes como el río Cauca y que de casi 103.7 millones de m³ de agua tratada en la PTAR de la ciudad no llegaba a los estándares exigidos de calidad para ser vertidos al río Cauca, generando una contaminación directa sobre el mismo. Así mismo, el sector residencial era el mayor aportante a dicha contaminación ya que este el sector compone en 68% por la huella hidrica gris por el vertido de agua tratada en la PTAR.

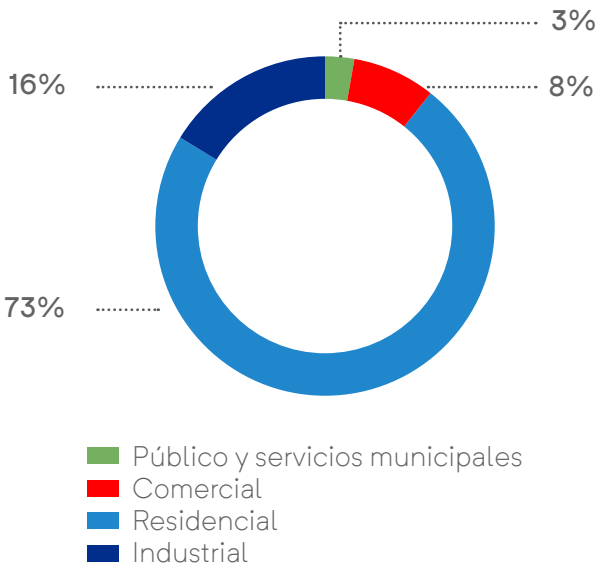


Figura 2. *Consumo de agua por sectores en la ciudad de Cali 2015.*
Fuente: *estudio de la huella hídrica de la Ciudad de Santiago de Cali, 2016.*

VERSIÓN BORRADOR

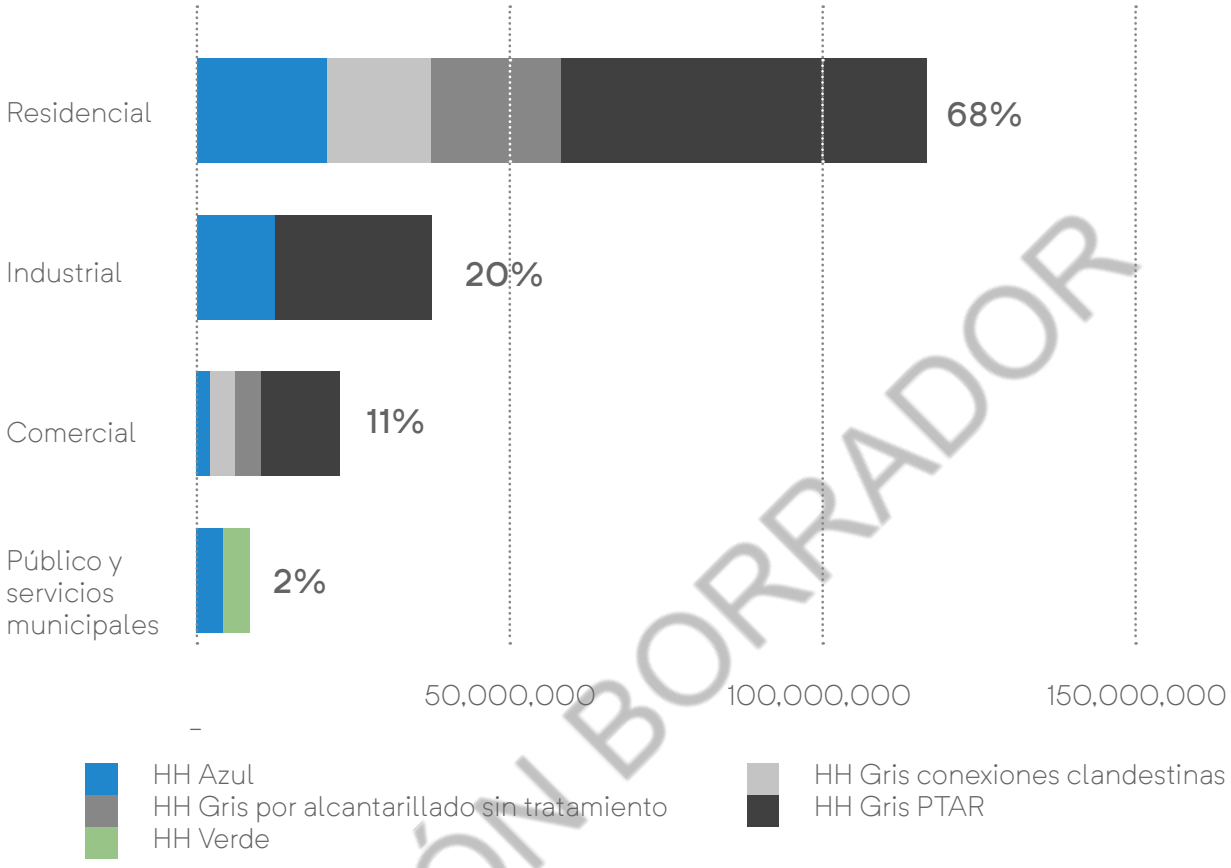


Figura 3. *Huella hídrica por sector y por tipo por sectores en la ciudad de Cali 2015.*
Fuente: *estudio de la huella hídrica de la Ciudad de Santiago de Cali, 2016*

Finalmente, otros 2 factores importantes se concluyen de dicho estudio:

1. A nivel del sector institucional, el mantenimiento de áreas verdes tiene un aporte del 81%, siendo este un volumen bastante alto para uso de agua potable.

2. Se estableció que el uso doméstico de agua en Cali por habitante (113 lts / hab / día) es mucho mayor respecto a lo establecido por la OMS de consumo ideal y necesario (50 lts / hab / día) y dicho estudio concluye con un hecho apremiante para el futuro de la ciudad: *"se puede concluir que la Huella Hídrica total de la cuenca no es sostenible en la gestión 2015, el grado de contaminación de los cuerpos de agua dulce principalmente el río Cauca, muestran alteraciones ecológicas severas afectando tanto a la ciudad como a las comunidades aledañas."*

En esa misma línea, el gobierno de la ciudad ha venido desarrollando iniciativas con el fin de mitigar dichos impactos, como **la guía de buenas prácticas ambientales para el sector de la construcción en el área urbana de Santiago de Cali,** (DAGMA – Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente., 2019a) destacando el manejo adecuado del componente recurso hídrico.

VERSIÓN BORRADOR

También se emite la Resolución 4133.010.21.0.1525 de 2019, Por la cual se adopta el documento técnico "Medidas de manejo ambiental para la conservación del acuífero y administración del recurso hídrico subterráneo 2019-2031, definidas en el Plan de Manejo Ambiental del Acuífero en el perímetro urbano de Santiago de Cali formulado en el año 2019", la cual resalta las medidas para la conservación del área de recarga prioritaria del acuífero al sur de la ciudad que es la más afectada por la construcción. (DAGMA – Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente., 2019b). Adicionalmente se adopta **el plan de manejo ambiental de acuífero de la zona urbana, de la ciudad** (CVC, DAGMA, Alcaldía. 2020) que resalta las amenazas relacionadas al cambio de la condición de zona de recarga (mayor área impermeabilizada del suelo y menos precipitación que llega a la zona saturada) que resulta en un desequilibrio entre la oferta renovable y la demanda.

VERSIÓN BORRADOR

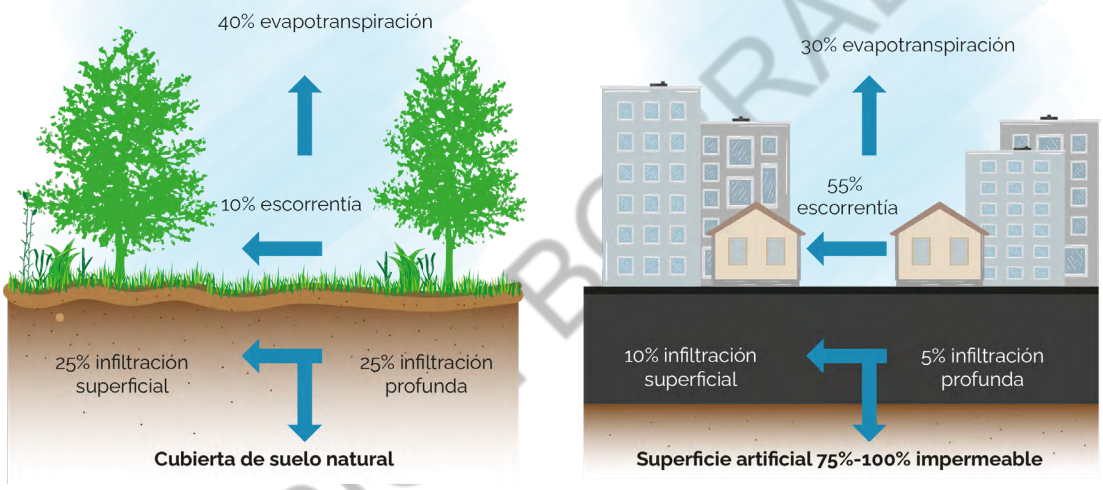


Figura 4. Ciclo natural del agua versus ciclo del agua en las ciudades sin practicas sostenibles.
Fuente: *elabotación propia, 2021.*

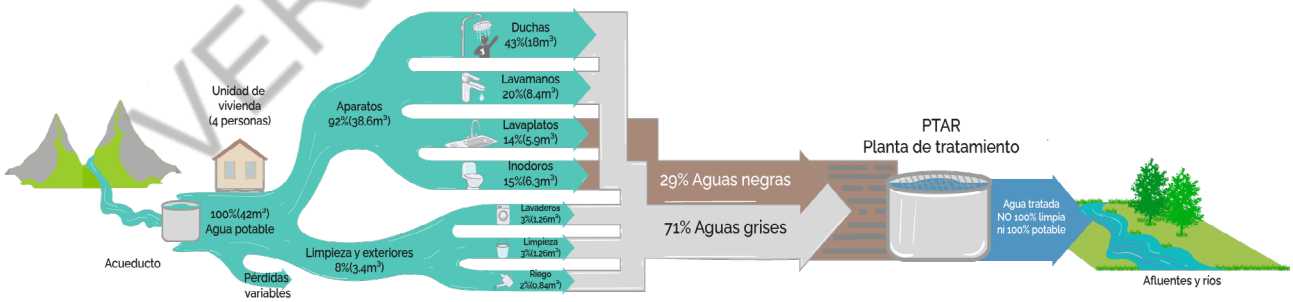


Figura 5: Ejemplo flujo de consumo de agua convencional residencial.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

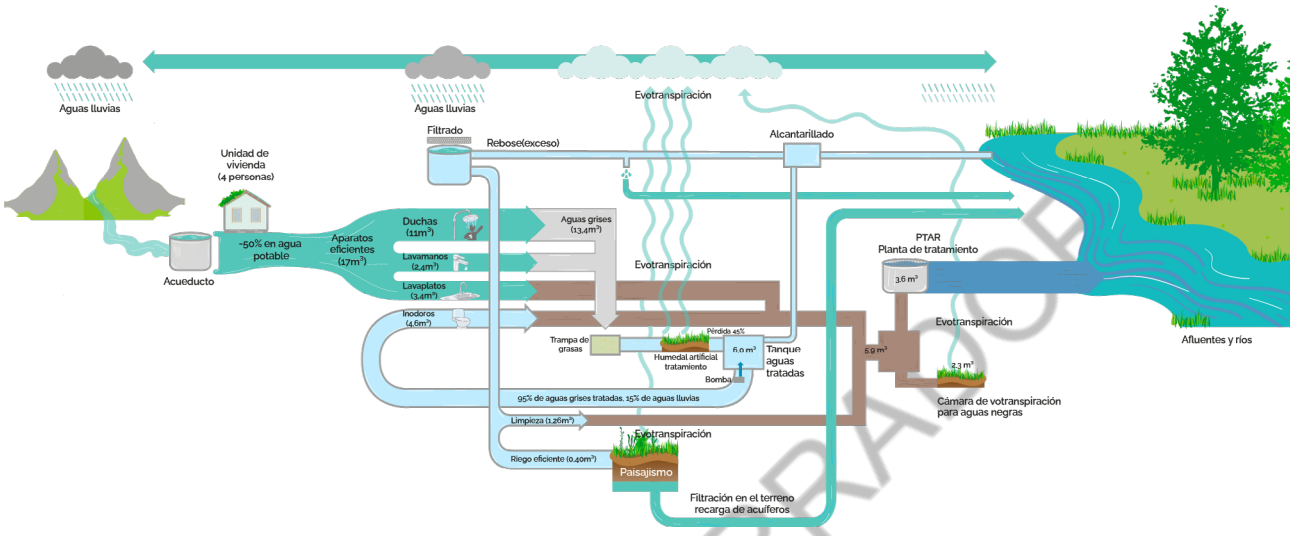


Figura 6. Flujo consumo de agua con reutilización residencial. Intención del Manual.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

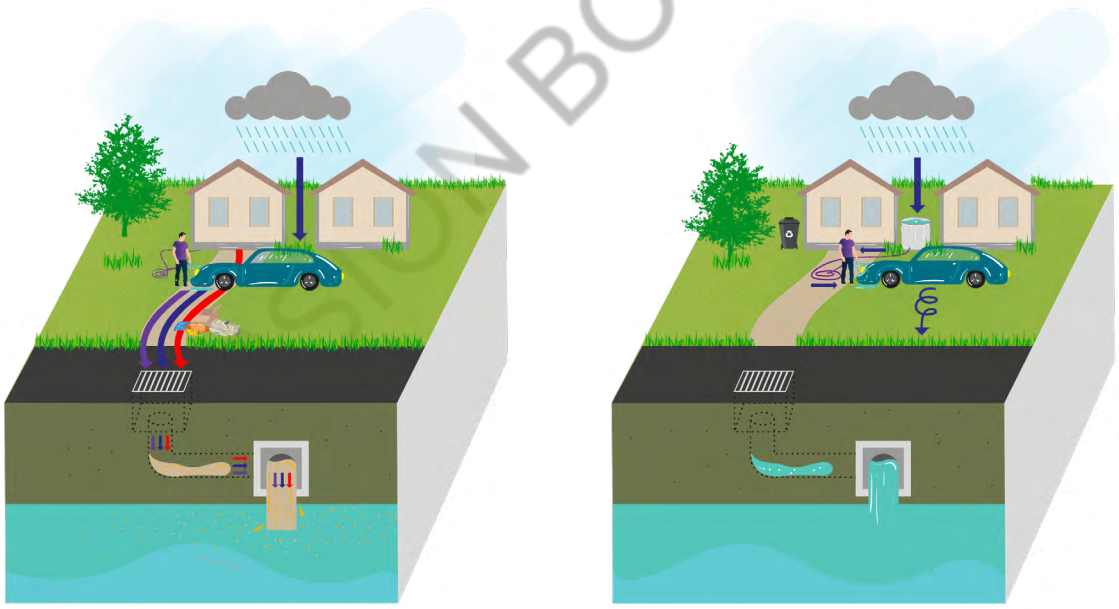


Figura 7. Ciclo uso de agua en edificaciones convencionales versus ciclo del uso agua en edificaciones con prácticas sostenibles.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

3.1.

Identificación de consumo de agua

Aplicable a todo el sello SCCS. Numerales AA.1., AA.2., AA.3., y AA.4.

VERSIÓN BORRADOR

La identificación de consumos de agua es de primordial importancia para establecer las posibles estrategias para reducción de su consumo y aplicaciones de prácticas sostenibles, tanto en las edificaciones y como en los desarrollos urbanísticos. Para la identificación de dichos consumos, se relaciona a sectores y a tipologías de edificación, que como se ha indicado anteriormente, el sector residencial, es el de mayor consumo en la ciudad de Cali (Alcaldía de Santiago de Cali, 2016) dentro de los cuales las residencias de estratos socioeconómicos altos son los de mayores consumos, como se muestra en la siguiente tabla organizada por comunas, estratos socioeconómicos y consumos respectivos.

COMUNA	CATEGORIZACIÓN SEGÚN EL ESTRATO	CONSUMO DE AGUA (L/Día)	
1	1	<58,4	VIP 75.5 L/Día
14	1	58,4-96,8	
18	1	<58,4	
20	1	58,4-96,8	
21	1	96,8 - 114,5	
4	2	114,5 - 142,5	VIP - VIS 93.3 L/Día
6	2	58,4-96,8	
13	2	58,4-96,8	
15	2	58,4-96,8	
16	2	96,8 - 114,5	
3	3	96,8 - 114,5	VIS o >153 smlv 105.65 L/Día
5	3	114,5 - 142,5	
7	3	114,5 - 142,5	
8	3	114,5 - 142,5	
9	3	114,5 - 142,5	
10	3	114,5 - 142,5	
11	3	96,8 - 114,5	
12	3	114,5 - 142,5	
2	4	>159,3	>435 smlv 151,6 L/Día
19	4	>159,3	
17	5	114,5 - 142,5	
22	6	>159,3	

VERSIÓN BORRADOR

Tabla 1. *Consumos por comunas y estratos socio económicos Litros por habitante por día. datos de 2015.*
Fuente: *DAGAM- EMCALI, 2016*

Adicionalmente, se muestra que el sector comercial también es un factor importante en la demanda de agua potable y a nivel municipal y de servicios públicos, donde el uso del mismo aún no se encuentra en unos niveles eficientes, dado que el uso de agua potable se aplica a otras actividades que podrían estar usando fuentes alternativas al agua potable, como muestra la siguiente grafica donde a nivel municipal la mayor parte de uso se asocia a riego de áreas verdes y exteriores.

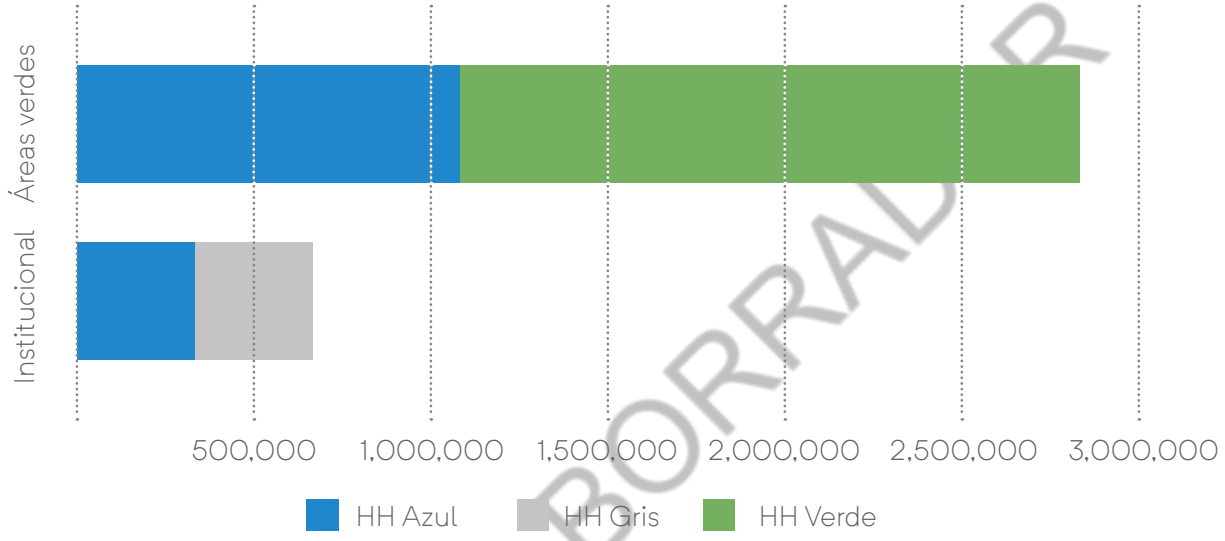


Figura 8. *Huella hídrica del sector de servicios públicos en la ciudad de Cali 2015.*
Fuente: *estudio de la huella hídrica de la Ciudad de Santiago de Cali, 2016.*

VERSIÓN BORRADOR

Por lo anterior, si bien el sector residencial es el de mayor impacto, la gran mayoría de las edificaciones tendrán un efecto sobre el impacto en el recurso hídrico (consumo, disposiciones, ciclo natural , etc) para lo cual este manual pretende reducir dichos impactos, dando herramientas y recomendaciones para que cualquier tipo de obra y edificación que incorpore buenas prácticas y según su grado de incorporación, pueda optar por los beneficios acá descritos, para logra desempeños destacados respecto a dichas prácticas sostenibles.

Por lo tanto, como se describió anteriormente, los consumos de agua potable, se asocian principalmente a aparatos sanitarios y en menor medida para usos de mantenimiento, aseo y riego de zonas exteriores y otros usos, según la tipología edificatoria; pero para poder tener un margen de evaluación, los dos principales criterios usados como referencia en este manual son: el consumo de aparatos sanitarios y el uso de agua para exteriores y riego.

A continuación, se describen unos porcentajes por aparatos, basado en los estudios realizados para la aplicación de la Resolución 0549 de 2015 y del programa BEA Building Efficency Acelerator en 2019 para la ciudad de Cali (Sastoque & Ovalle, 2019). donde se establece a qué equipos se les asocia mayor consumo según el uso del edificio y sobre los cuales se pueden establecer las estrategias principales para reducción de consumo o manejo del agua residual que ellos generen, según el sector de los cuales se resumen los siguientes usos principales:

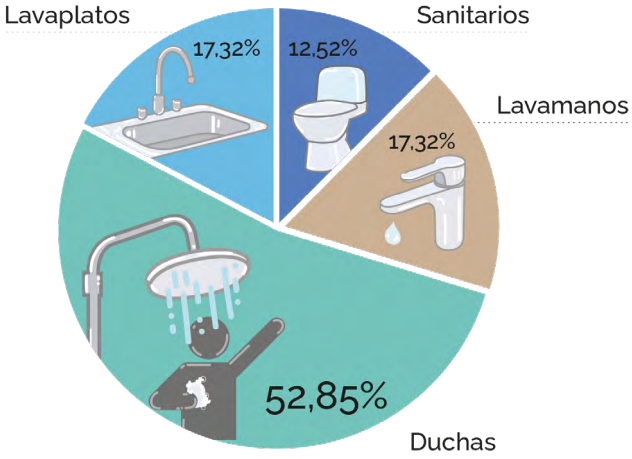


Figura 9. *Consumos de agua por aparatos en vivienda VIS en Cali, basado en estudio del programa BEA para Cali, 2019.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

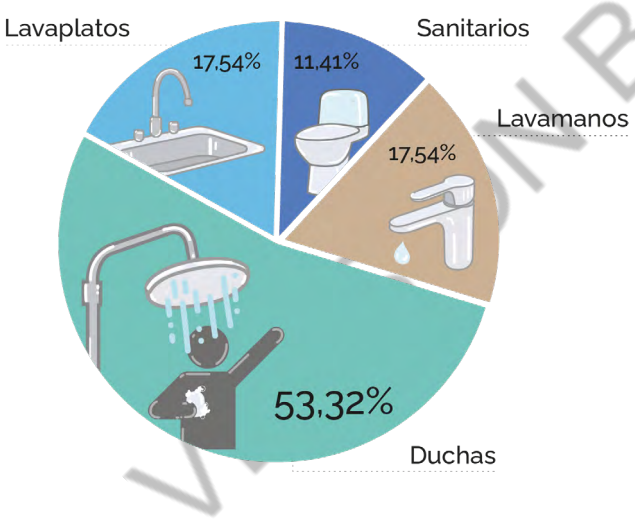


Figura 10. *Consumos de agua por aparatos en vivienda >435 SMMLV en Cali, basado en estudio del programa BEA para Cali, 2019.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

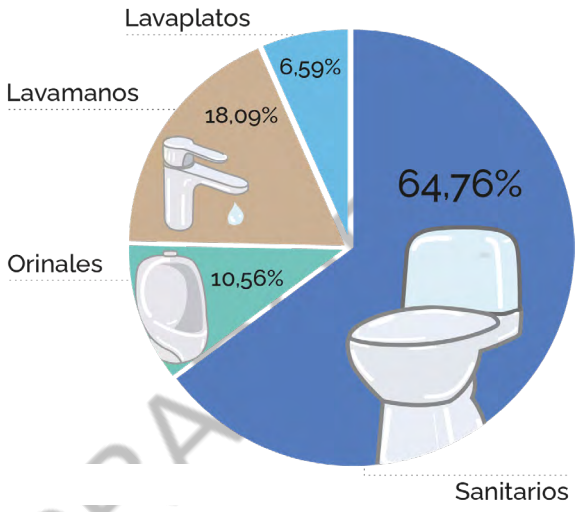


Figura 11. *Consumos de agua por aparatos en centros comerciales en Cali, basado en estudio del programa BEA para Cali, 2019.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

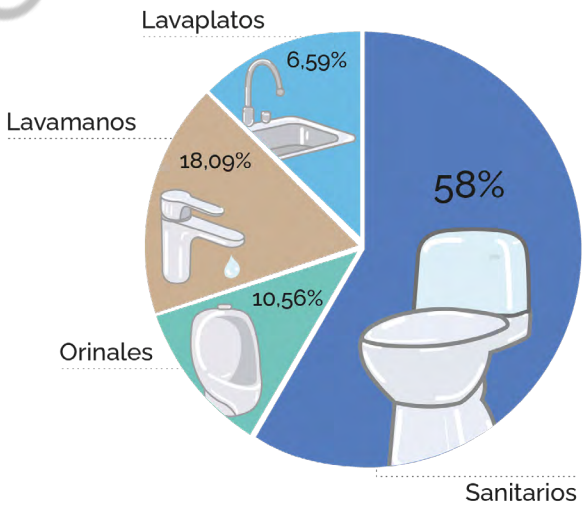


Figura 12. *Consumos de agua por aparatos en colegios en Cali, basado en estudio del programa BEA para Cali, 2019.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Como se apreciar en las gráficas anteriores, en uso de viviendas casi una cuarta parte del consumo de agua potable se usa en consumo no potables como inodoros y en el caso de otros usos, más de la mitad se asocia también a dichos usos no potables, siendo este uno de los principales focos para lograr ahorros y reducción de impactos asociados al consumo de agua y de aguas servidas.

VERSIÓN BORRADOR

Definiciones de consumo

**primordial para la implementación del Sello Cali Construye Sostenible SCCS del componente de agua puntos AA.1 al AA.4.*

Para el presente Manual se tendrán en cuenta las disposiciones y normas nacionales y locales vigentes al momento de aplicación del mismo, que aplican respecto a cada tipo de edificación y su área. Actualmente rige la normatividad establecida en la Resolución 0549 de 2015 para un grupo de edificaciones las cuales se resumen en la tabla 2 (para la aplicación del manual su versión más reciente). Para el resto de las edificaciones y áreas, se tendrán en cuenta las disposiciones nacionales y municipales vigentes de referencia descritas en la misma tabla 2.

Por lo cual, para poder establecer un punto de partida de comparación, actualmente, no existe un estudio amplio para establecer una línea base para cualquier tipo de edificación, solo dos aproximaciones en la situación actual, la primera es la línea base de aplicación de la resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda para el grupo de edificaciones que ella cobija y de la cual se usa como punto de partida para este Manual; la segunda aproximación son los valores de diseño de uso actual y habitual por los profesionales hidrosanitarios, los cuales están apegados a la norma actual vigente del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2010 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio – Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2010) y la Norma Técnica Colombiana de referencia NTC 1500 de 2017 (ICONTEC / Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2017). Si bien esta segunda aproximación no está basada en estudios de consumo actual y no son específicos para la ciudad de Cali, si es un punto de partida, sobre los cuales se puede dar la incorporación de ahorros y los primeros pasos hacia prácticas sostenibles y eficientes asociadas al manejo de agua en edificaciones.

VERSIÓN BORRADOR

		Tipo de obra	Obra nueva	O.Nueva de la fuera Res 0549	Ampliación	Adecuación	Modificación	Restauración
Grupo	**Categoria**	**Tipología edificatoria**	**Áreas Res 0549**	**Áreas superiores a 300 m²**				
01	*Vivienda especial	Vivienda VIP	RES 0549	Disposiciones del manual de construcción sostenible (≥300 m²)				
		Vivienda VIS						
02	Vivienda general	Vivienda no VIS						
03	Comercial	Oficinas (*1)						
		Centros de comerciales (*2)						
		Hoteles (*3)						
	Educativo	Centro educativo - Colegios (*4)						
		Centro educativo superior (*4)						
	Salud	Hospitales (*5)						
04	Reunión	Culturales	Disposiciones del manual de construcción sostenible (≥300 m²)					
		Religiosos						
		Deportivos						
		Transporte						
		Oficinas gubernamentales						
		Seguridad						
	Ocio	Recreación						
	Fabril	Industrial						
	Almacenamiento	Bodegas						

Res. 0549 Obligatorio cumplimiento Resolución 0549 / Cuantitativo

Aplican las disposiciones del Manual / Cualitativo

** Incluye unifamiliar y multifamiliar*
** 1 superior a 1500 m² sin contar área parqueadero*
** 2 superior a 1500 m² sin contar área parqueadero*
** 3 superior a 50 habitantes*
** 4 superior a 1500 alumnos*
** 5 superior a 5000 m² sin contar área parqueadero*

VERSION

Tabla 2: *Aplicabilidad y marco de referencia del componente Agua del Manual de Construcción Sostenible de Santiago Cali.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Línea base para tipologías de la Resolución 0549 de 2015

Con base en la tabla 2 de aplicabilidad del componente de agua del Manual de Construcción Sostenible, dichos tipos de obra con las áreas allí establecidas son las que dispone la Resolución 0549 de 2015, pero cabe aclarar, que esta, no integra lavaplatos y ni lavadoras en el consumo principal, pero estos dos pueden ser una fuente importante de generación de aguas residuales a tener en cuenta y objeto de potencial de ahorro significativo por la incorporación de prácticas sostenibles.

Sobre dichos requisitos obligatorios de ahorro de la resolución vigente al momento, de la aplicación de este Manual, se establece un porcentaje adicional resumido en la tabla 03, con una exigencia adicional de ahorros para zonas comunes y exteriores (mantenimiento y riego), para optar la obtención del reconocimiento del Sello Cali Construye Sostenible – SCCS.

En el caso de viviendas, para este Manual se pretende incorporar el consumo teórico asociado lavaplatos para el cálculo global, por el método de desempeño de dicha Resolución e igualmente incorpora un apartado para zonas comunes (porterías, baños de piscinas, salones sociales, etc) y exteriores (mantenimiento y riego) con el fin de lograr prácticas más sostenibles con menores consumos y mayor optimización del recurso hídrico. Para el caso de este Manual, para todas las tipologías de esta Resolución, para la exigencia de ahorros, se tendrá en cuenta la microzonificación climática de la ciudad de Santiago de Cali, establecida en el Estudio de Microzonificación climática de Cali (DAGMA), que se alinea a las zonas climáticas de la Resolución 0549, pero no se tendrá en cuenta como una única zona climática para toda la ciudad de Santiago de Cali, como está establecido en dicha Resolución.

Estimación de referencias para otras tipologías fuera de la Resolución 0549.

Para las demás tipologías, no contempladas en la resolución 0549 no existe una línea base que permita establecer un punto de comparación de consumos en la práctica actual de cada sector y tipología, pero para que estas tipologías se puedan incorporar en las prácticas sostenibles de este manual, existe una base diseño que es la norma nacional: el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2010 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio – Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico y la cual es la referencia de todos los diseños hidrosanitarios, que a su vez usan como base general la NTC 1500 — de 2017 y que según estudios del DAGMA del programa BEA para Cali (Sastoque & Ovalle, 2019), en la práctica de la ciudad, puede tener un desempeño mejor a dicha resolución, con lo cual al no existir una mejor herramienta, este manual establece la norma Nacional RAS 2010 y el Código Colombiano de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias NTC 1500-2017, como el punto de partida de diseño a ser evaluado, sobre el cual se establecerán los ahorros propios para las tipologías no contempladas en esta Resolución.

VERSIÓN BORRADOR

Al igual que las tipologías de la resolución, para las demás tipologías se incorporan zonas comunes (porterías, baños de piscinas, salones sociales, etc) y exteriores (mantenimiento y riego) donde existe un gran potencial de ahorro, reducción de impactos ambientales y reducción de la huella hídrica. Los procedimientos se describen en los apartados de aparatos y para exteriores.

Indicadores relacionados al impacto del edificio:

En este sentido, el impacto ambiental del edificio que se pretende reducir, es la demanda de agua potable en alrededor de un 30% aproximadamente, porcentaje que varía según el uso y tipo de edificio, pero con ello se disminuye la presión sobre los afluentes naturales para poder proveer agua potable para consumo humano.

Adicionalmente, para la ciudad un menor consumo de agua se traduce en menor cantidad de agua servida a ser tratada después de su uso por la PTAR, por lo tanto, menor transporte, menor energía en dicho proceso, por ende, se asocia una reducción de gases de efecto invernadero a dicho proceso de tratamiento. En el aspecto económico se estima en la simulación económica un incremento del 12% aproximadamente sobre el costo de las instalaciones de un edificio tradicional, depende el uso, pero dichos costos adicionales esperan verse compensados por los incentivos y beneficios de este manual asociados al sello SCCS, adicionalmente de la reducción en el consumo y por ende en las facturas de agua y alcantarillado de los usuarios finales, tanto propietarios, como arrendatarios, convirtiéndose en una ventaja competitivas frente a las demás opciones del mercado.

Exigencias y valores de alcances del componente agua del manual de construcción sostenible para la obtención del SCCS.

Exigencias del componente agua para el manual de construcción sostenible para la etapa de utilización de la edificación

En la siguiente tabla 3, se resumen las exigencias de porcentajes de ahorros para la aplicación de este Manual y la consecución respectiva del puntaje del componente agua AA a ser logrado para obtener el **Sello Cali Construye Sostenible - SCCS.**

Res. 0549 Obligatorio cumplimiento Resolución 0549 / Cuantitativo

Aplican las disposiciones del manual o por reducción en porcentaje acorde al RAS - 2017 o especificaciones de equipos según el manual/ Cualitativo

** Incluye unifamiliar y multifamiliar*
** 1 superior a 1500 m2 sin contar area parqueadero*
** 2 superior a 1500 m2 sin contar area parqueadero*
** 3 superior a 50 habitantes*
** 4 superior a 1500 alumnos*
** 5 superior a 5000 m2 sin contar area parqueadero*

VERSIÓN BORRADOR

OBRA NUEVA										
				Reducción consumo agua potable sobre la Resolución 0549				Reducción consumo agua potable tipologías fuera la Resolución 0549		Reducción Impac. Aflu. Aguas grises
	GRUPO	CATEGORIA	TIPOLOGÍA EDIFICATORIA	US. 39 Obligatorio al manual	US. 40 Destacado	US. 41 Zonas comunes y exteriores	US. 39 Obligatorio al manual	US. 40 Destacado	US. 41 Zonas comunes y exteriores	US. 18 Tratamiento de agua grises
Sobre la exigencia Res. 0549	Grupo 01	*Vivienda especial	Vivienda VIP Vivienda VIS	3%	7%	30%	10%	15%	30%	10%
	Grupo 02	Vivienda general	Vivienda no VIS	5%	10%	40%	20%	30%	40%	20%
	Grupo 03	Comercial	Oficinas (*1)	10%	20%	50%	25%	35%	50%	35%
			Centros de comerciales (*2)							
			Hoteles (*3)							
		Educativo	Centro educativo - Colegios (*4)							
			Centro educativo superior (*4)							
		Salud	Hospitales (*5)							
Sobre los máximos permitidos provisión diaria RAS 2010 y aparatos NTC -1500-2017	Grupo 04	Reunión	Culturales							
			Religiosos							
			Deportivos							
			Transporte							
			Oficinas gubernamentales							
			Seguridad							
		Ocio	Recreación							
		Fabril	Industrial							
		Almacenamiento	Bodegas							

Tabla 3. *Exigencias y valores de aplicabilidad del componente de agua del manual de construcción sostenible para la fase de utilización de la edificación.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Exigencias del componente agua para el Manual de Construcción Sostenible para la etapa de obra (construcción) de la edificación

**aplicable a los criterios AA.3.1 del Sello SCCS*

El manejo sostenible del agua durante la obra para el presente manual se enfoca en los mismos objetivos principales: reducción del consumo de agua potable y reducción de impactos sobre afluentes, por lo cual los proyectos que deseen incorporar buenas prácticas en obra hacia dichos objetivos podrán incorporar estrategias de:

1. Utilización de agua no potable ***(criterio AA.3.1)***: para baños o procesos constructivos que lo permitan, por ejemplo, uso agua lluvia captada o reutilización de agua gris tratada para las baterías de baños (inodoros) del campamento, aportando al menos el 15% del consumo requerido. (ver apartado 3.3 y 3.4 de este Manual) o el uso de agua lluvia almacenada para proceso de obra como los descritos en el apartado de 3.3 sobre aprovechamiento de aguas lluvias. Para ello se debe establecer un plan y diseño de un sistema provisional de aprovechamiento de dichas aguas.

2. Control de sedimentación en obra ***(obligatorio para todas las tipologías a optar por el sello SCCS y en armonía con la Resolución 1055 de 2015 del DAGMA)***: para evitar que los residuos sólidos o contaminantes se viertan en los sistemas de alcantarillado (complemento, en especial de aguas lluvias y afecten la red y su vertimiento en afluentes, como estrategia para prevenirlo, se debe implementar un plan de manejo y seguimiento de control de sedimentación en obra, protegiendo los cárcamos y sumideros de la red de alcantarillados, cuerpos y cursos de agua que puedan verse afectados por los proceso de obra.

3. Incorporación de materiales que soporten uso eficiente de agua en su fabricación o procesamiento, a partir de uso de agua no potable o reciclada (ver sello SCCS MS.2 y MS.10 – baja huella hidrica).

BORRADOR



Figura 13. *Protección de sumidero con geotextil.*
Fuente: *https://www.setri.com.co/wp/wp-content/uploads/2019/05/proteccion-carcamos-y-sumideros.jpg*



Figura 14. *Protección de sumidero de aguas lluvias contra sedimentación y material particulado de obra.*
Fuente: *https://www.lakecountyohio.gov/portals/21/inlet_protection.jpg*

3.2.

Reducción de consumo de agua potable

VERSIÓN BORRADOR

Uso eficiente interiores – eficiencia en equipos

**aplicable a los criterios AA.1.1 y AA.1.2 del Sello SCCS*

Los equipos principales de consumo de agua potable, aunque no los únicos, son los aparatos sanitarios, ya que para otros equipos especiales (aires acondicionados, bombeo, etc.) se dificulta tener herramientas de comparación en cuanto su consumo, debido a las particularidades y necesidades específicas de cada proyecto. En el caso de los equipos sanitarios su uso es más común, estandarizado y más documentado, como se ha mencionado anteriormente, es por ello que son los usados como patrón de comparación en los ahorros solicitados.

Aparatos Sanitarios

Los aparatos sanitarios convencionales, aun no se acercan a unos consumos eficientes, por lo cual, con la selección de equipos tanto eficientes como de alta eficiencia, se tiene un gran potencial de lograr dichos ahorros, ver el Anexo 01, sobre un ejercicio comparativo de como estos pueden lograr ahorros significativos, aunque como se desarrolla a lo largo de este manual, no es la única estrategia posible ya que estos pueden usar aguas de fuente no enteramente potable, como por ejemplo agua lluvia donde el uso se permita (por ejemplo para sanitarios, orinales, lavadoras, etc).

Procedimiento de estimación de consumos para el diseño de tipologías contempladas en la Resolución 0549 de 2015.

**aplicable a los criterios AA.1.1. y AA.1.2. del Sello SCCS.*

Para el caso de dicha resolución, se debe seguir la metodología contemplada en la misma y lograr los ahorros exigidos contemplados y sobre esa exigencia, los ahorros adicionales estipulados en este manual para la obtención del puntaje requerido para optar al sello SCCS (ver tabla 3). Los equipos allí estudiados, son los que se encuentran disponibles a la fecha en el mercado nacional, con lo cual son factibles para su adquisición.

Procedimiento de estimación de consumos para el diseño teórico para otras tipologías fuera de la Resolución 0549 de 2015.

**primordial para la implementación del Sello Cali Construye Sostenible SCCS del componente de agua AA, criterios AA.1.1 y AA.1.2.*

Para los demás casos de tipos y usos de edificaciones no cobijadas por la resolución 0549, la base de diseño se seguirá teniendo en cuenta la práctica de diseño actual acorde al RAS 2010 y los equipos de la NTC 1500 de 2017, para demostrar los ahorros adicionales, para lo cual, los diseños hidrosanitarios deberán adjuntar las tablas de cálculo teórico de consumo mensual y consumo anual y las fichas técnicas de los aparatos sanitarios instalados, que posteriormente podrán ser verificados en sitio, por una autoridad designada, un ejemplo de este método desempeño teórico de puede ver Anexo 01. A continuación, se presentan ejemplos de algunos de los valores para tener en cuenta según la RAS 2010 y la NTC 1500 -2017.

TIPO DE INSTALACIÓN	CONSUMO DE AGUA
Educación elemental	20L/alumno/jornada
Educación media y superior	25L/alumno/jornada

Tabla 4. *Consumo mínimo para uso educativo.*
Fuente: *RAS 2010.*

VERSIÓN BORRADOR

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	DOTACIÓN NETA (L/HAB*DÍA) CLIMAS TEMPLADO Y FRÍO	DOTACIÓN NETA (L/HAB*DÍA) CLIMA CÁLIDO
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Tabla 5. *Consumo dotación de agua potable para uso residencial por habitante.*
Fuente: *RAS 2010.*

APARATOS HIDROSANITARIOS O ACCESORIOS PARA LOS APARATOS	CONSUMO Y CAUDALES MÁXIMOS[b]
Lavamanos	8,3 L/min (2,2 gpm) a 414 kPa (60 psi)
Lavamanos público (con cierre automático)	0,9 Lpf (0,25 galones) por ciclo de descarga
Lavamanos público (otro que no sea con cierre automático)	1,9 L/min (0,5 gpm) a 414 kPa (60 psi)
Regadera	9,5 L/min (2,5 gpm) a 552 kPa (80 psi)
Grifo de poceta [a]	8,3 L/min (2,2 gpm) a 414 kPa (60 psi)
Orinales	3,8 Lpf (1,0 galones) por ciclo de descarga
Inodoros	6,0 Lpf (1,6 galones) por ciclo de descarga

Factores de conversión: 1L = 0,3 galón, 1L/min = 0,3 galón min,
1 kPa= 0,1 libra por pulgada cuadrada.

- [a] una teleducha es una regadera
- [b] las tolerancias de consumo deben ser las determinadas en las normas citadas.

Nota: para otros aparatos sanitarios refiérase a la NTC 1644.

Tabla 6. *Consumos máximos aparataos*
Fuente: *NTC 1500 — 2017.*

VERSIÓN BORRADOR

En el caso de los aparatos sanitarios de zonas comunes no contempladas en la Resolución 0549, como por ejemplo en el caso de vivienda multifamiliar como salones sociales, duchas y baños de piscinas, baños de empleados o de puesto de vigilancia, cuartos de aseo, etc. Deberán seguir el mismo procedimiento de cálculo teórico de consumo de aparatos.

Los pasos recomendados para establecer el consumo como punto de partida de los diseños sobre el cual se deben sustentar los ahorros, que son los más ampliamente utilizados en el medio, se resumen de la siguiente manera:

1. Establecer los tipos y especificaciones de los aparatos sanitarios que serán instalados (deben soportarse con la ficha técnica con los datos de consumo del fabricante).

2. Establecer la cantidad de aparatos sanitarios de cada tipo, el número de usuarios (permanentes o transitorios para establecer el número de usos), según la tipología de edificio, por unidad privada (unidad de vivienda, oficina privada, local, habitación de hotel, habitación de hospital, etc.) o por el global del edificio cuando aplica (baterías de baños de uso comunal, por ejemplo, colegios, centros comerciales, etc.).

3. Establecer el consumo promedio por aparato según ficha técnica y su categoría si es de descarga (litros por descarga — LPD) o si es de flujo (grifería. Litros por minuto — LPM).

4. Establecer los usos al día (se recomienda 5 en uso residencial, para uso público o comunal por habitante 1 para hombres, 3 para mujeres) y su duración en minutos cuando aplica.

5. Establecer el consumo en litros o metros cúbicos al día por cada tipo de aparato sanitario con referencia a las especificaciones del RAS 2010 y NTC 1500 y multiplicarlo por un promedio de 30 días al mes para establecer el consumo mensual de diseño.

6. Sobre ese consumo mensual (Lts/ mes o m³/ año) establecer la mejora en aparatos sanitarios más eficientes a ser implementados, con su soporte de ficha técnica correspondiente y el ahorro estimado. Adicional o como alternativa a dichos ahorros por equipos, se podrá demostrar ahorros por las otras estrategias recomendadas por este manual como la reutilización de agua lluvia o reutilización de aguas grises pretratadas para usos no potables y de no manipulación de usuarios (por ejemplo en inodoros, orinales, lavadoras).

Para el procedimiento anterior, se deben establecer los estándares acá referidos: Resolución 0549, RAS y NTC 1500 en su última versión vigente. En el caso de un diseño detallado por horario de utilización al año, según la tipología de edificios y acorde a los parámetros establecidos para todo el manual, por ejemplo, temporada de vacaciones en colegios o temporada de alta ocupación en hoteles, se recomienda hacer separado por dichos meses atípicos y por los meses de ocupación pico para establecer el consumo de diseño al año.

A continuación, en la tabla 7 se resume un posible encabezado de tabla de cálculos según lo sugerido.

VERSIÓN BORRADOR

Usuarios o Número de equipos	Consumo promedio (LPM - LPD)	Usos al día	Duración (min)	Consumo Total/Dia (m³/día)	Consumo Total/Mes (m³)

Tabla 7: *ejemplo de información requerida para el cálculo de diseño.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Estrategias de Aparatos Sanitarios eficientes

La estrategia de uso de **Aparatos sanitarios eficientes (criterio AA.1.1 y AA.1.2 del sello SCCS)** dentro de este Manual (ver listado de estrategias del anexo matriz de criterios y estrategias) aplican tanto como para las unidades privadas (AA.1.1 unidad de vivienda, oficina privada, habitación de hotel, habitación de hospital, local comercial, etc.) como se contempla en la Resolución 0549 de 2015, así como para las áreas comunes (AA.1.2), que no se contemplan en dicha resolución, pero si dentro de este manual (baterías de baños, puestos de vigilancias, áreas sociales comunes, etc.) y son de aplicabilidad para la obtención del sello SCCS.

Para el caso de los aparatos sanitarios, la tabla 8, que define los principales equipos sanitarios a tener en cuenta y cómo estos están referenciados y sus exigencias para el caso del cumplimiento de la Resolución 0549 por el método prescriptivo. Sobre dicha tabla, para poder lograr los ahorros adicionales estipulados en este manual de construcción sostenible (MCSC) y exigidos para la obtención del sello SCCS, se establecen unos consumos de dichos equipos, que como se ejemplifica mediante los cálculos realizados en el Anexo 1, serían necesarios para demostrar dicho ahorro adicional. Se sugieren los equipos aquí señalados, para lograr dichos ahorros, los cuales no son los únicos y su instalación no es obligatoria, tanto para para las tipologías de la Resolución 0549, como para las demás tipologías y usos.

VERSIÓN BORRADOR

TIPO DE APARATO SANITARIO	TIPOLOGIAS							
	CENTROS COMERCIALES, OFICINAS, EDUCATIVOS		HOSPITALES		HOTELES		EDIFICACIONES DE VIVIENDA	
	Medidas Res. 0549	MCSC Máximo	Medidas Res. 0549	MCSC Máximo	Medidas Res. 0549	MCSC Máximo	Medidas Res. 0549	MCSC Máximo
Lavamanos	Llave agua fría con controlador aireador de 2 LPM de flujo	Públicos: llave 1.9 LPM. Privados: controlador aireador de 2 LPM	Llave agua fría con controlador aireador de 2 LPM de flujo	Públicos: llave 1.9 LPM. Privados 1.5 LPM. A 60psi de presión	Llave con control de mezcla frio – caliente agua fría con controlador aireador de 2 LPM de flujo	Públicos: llave 1.9 LPM. Privados 1.5 LPM. A 60psi de presión	Llave con control de mezcla frio – caliente agua fría con controlador aireador de 2 LPM de flujo	= Resolución 0549
Inodoros (*)	Descarga Dual con 6/4.5 LPF	De uso publico con fluxómetro 4.5 LPD o 3.8 PLD	Descarga Dual con 6/4.5 LPF	De uso publico con fluxómetro 4.5 LPD o 3.8 LPD. Privado habitaciones: Descraga Dual 4.8/3.8 LPD	Descarga Dual con 6/4.5 LPF	De uso publico con fluxómetro 4.5 LPD o 3.8 LPD. Privado habitaciones: 3.8 LPD	Descarga Dual con 6/4.5 LPF	Privado habitaciones: Dual 4.8/3.8 LPD o 3.8 LPD unica descarga. VIS – VIP 4.8 LPD

TIPO DE APARATO SANITARIO	TIPOLOGIAS							
	CENTROS COMERCIALES, OFICINAS, EDUCATIVOS		HOSPITALES		HOTELES		EDIFICACIONES DE VIVIENDA	
	Medidas Res. 0549	MCSC Máximo	Medidas Res. 0549	MCSC Máximo	Medidas Res. 0549	MCSC Máximo	Medidas Res. 0549	MCSC Máximo
Duchas (**)	No Aplica	No Aplica	Bajo Flujo con aireador y control de flujo debe incluir un controlador de mezcla 6 LPM	= Resolución 0549	Bajo Flujo con aireador y control de flujo debe incluir un controlador de mezcla 6 LPM	= Resolución 0549	Bajo Flujo con aireador y control de flujo debe incluir un controlador de mezcla 6 LPM	= Resolución 0549
Lavaplatos (***)	No Aplica	Llave 2 LPM o lavaplatos a presión pre-rinse 6 LPM a 60 PSI de presión.	No Aplica	Llave 2 LPM o lavaplatos a presión pre-rinse 6 LPM a 60 PSI de presión.	No Aplica	Llave 2 LPM o lavaplatos a presión pre-rinse 6 LPM a 60 PSI de presión.	No Aplica	Llave 5.2 LPM a 60 PSI de presión
Lavadero servicios	Llave agua fría con controlador aireador de 2 LPM de flujo	= Resolución 0549	Llave agua fría con controlador aireador de 2 LPM de flujo	= Resolución 0549	Llave agua fría con controlador aireador de 2 LPM de flujo	= Resolución 0549	Llave agua fría con controlador aireador de 2 LPM de flujo	= Resolución 0549
Orinal	1 LPF	Caudal máximo 0.5 LPD	1 LPF	De uso publico caudal máximo 0.5 LPD	1 LPF	De uso publico caudal máximo 0.5 LPD	No Aplica	No Aplica

VERSIÓN BORRADOR

- LPF= litres per Flush = Litros por descarga LPD
- Para el MCSC (Manual de Construcción Sostenible de Cali) son valores máximos
- (*)Ideal la reduccion en centros comerciales, oficinas, educativos
- (**)Ideal 5 lpm en reducción en residencial y hoteles, pero de dificil adquisicion en mercado local
- (***) ideal todas las tipologias
- Posibilidad de ahorro adicional en VIP-VIS: lavaplatos, Inodoros 4.8 lpd vale el doble a uno de 6/4.5 de consumo promedio 5.2 lpd

Tabla 8. *Aparatos sanitarios recomendados en la Resolución 0549 para el método prescriptivo comparados con equipos estudiados en este manual para ahorros adicionales.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Uso eficiente en exteriores: aseo y riego

**aplicable al criterio AA.1.3 aseo y mantenimiento de áreas comunes y al apartado AA.3 JARDINERIA Y PAISAJISMO EFICIENTE EN AGUA, criterios AA.2.1, AA.2.2, AA.2.3 y AA.2.4 del Sello SCCS.*

La utilización de agua potable para uso en exteriores, como lavado de zonas comunes y exteriores o para el riego de jardinería y paisajismo, es una práctica poco sostenible, ya que usa agua pura o limpia para un uso no potable, siendo un factor de presión sobre los sistemas hidrológicos y de demanda a ser optimizados en este Manual y por ello, el objetivo principal, es la reducción de este consumo, ya sea por sistemas eficientes o por el uso de agua de fuentes alternativas al agua potable del suministro público.

Estimar demanda de agua para exteriores (aseo y mantenimiento)

**aplicable al criterio AA.1.3 del Sello SCCS*

Para la estimación de agua para exteriores no existe una metodología homologada muy precisa, pero se tienen unos valores empíricos de referencia que, en el caso de este manual se basa en la NTC 1500 como valor de referencia, asumiendo un área horizontal de piso comunal a ser implementado un aseo o mantenimiento periódico de al menos una vez por semana para su cálculo, es decir 4 veces en el mes. Dichos valores como referencia para estimar la demanda al mes son los siguientes:

- Pisos cerámicos o granitos (baldosas):
  0.5 litros/día (por 4 días al mes).
- Piso concreto:
  1.0 litros / día (por 4 días al mes).
- Pisos adoquinados o empedrados:
  1.5 litros / día (por 4 días al mes).

Estimar demanda de agua para jardinería y paisajismo

**aplicable al apartado AA.2 JARDINERIA Y PAISAJISMO EFICIENTE EN AGUA, criterios AA.2.1, AA.2.2, AA.2.3 y AA.2.4 del Sello SCCS.*

Existen varios métodos para estimar la demanda en riego para las áreas vegetadas de jardinería y paisajismo que, para el caso de este manual se basa en la metodología basada de Costello y Clark (Costello, Matheny, Clark, & Jones, 2000) conocida como coeficiente de Jardinería o Paisajismo, por ser una de las más ampliamente usadas para dicha estimación y por la simplicidad teórica de la misma que facilitará establecer la posible demanda a ser comparada.

Cabe destacar que esta metodología no aplica a áreas verdes de zonas deportivas (campus de futbol o similares) ni aplica para cultivos agrícolas, dado que su enfoque es paisajismo y jardinería general, ya que su objetivo es un mantenimiento aceptable y no su máxima productividad.

Este método busca establecer la demanda de agua para riego según: la condición climática,

VERSIÓN BORRADOR

de acuerdo con la densidad y tipo de vegetación, para el procedimiento de estimación y valores de referencia ver Anexo 2. Los pasos se resumen de la siguiente manera:

1. Calcular el coeficiente de paisajismo o jardinería (Kj).
2. Calcular la evapotranspiración anual (ETp) de las distintas áreas del proyecto.
3. Calcular la necesidad anual de riego para paisajismo y jardinería. (NRP).
4. Calcular de necesidades finales de agua de paisajismo y jardinería (NFP).
5. Calcular el consumo de agua de riego para paisajismo y jardinería (ARP).
6. Establecer el sistema de riego a implementar y su eficiencia.
7. Listar las estrategias implementadas para el uso eficiente de agua en paisajismo y su impacto en el desempeño de consumo de agua.

Con esto se busca hacer un riego optimizado y precalculado, que permita estimar las demandas de riego anuales de acuerdo con el tipo de vegetación, las condiciones micro climáticas del sitio, factores climáticos y poder al mismo tiempo optimizarse basado en las estrategias acá recomendadas de ser implementadas.

Algunas de las fórmulas y el procedimiento de cálculo, que se describen a continuación están detalladas en el Anexo 2.

Coeficiente de jardinería o paisajismo (Kj) = Coeficiente de especie (Ke) x Coeficiente de densidad (Kd) x Coeficiente microclima.(Km)

Kj = Ke x Kd x Km

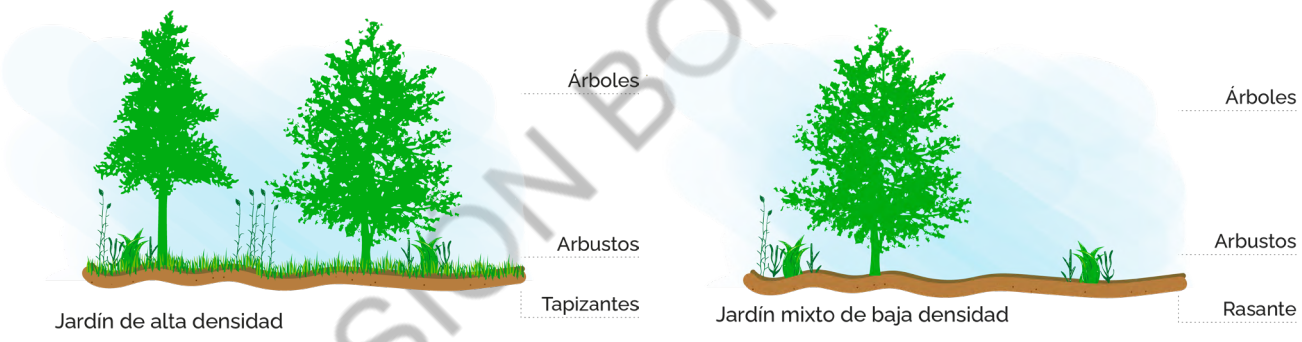


Figura 15. *Niveles de densidad del paisajismo.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*



Figura 16. *Factor de microclima. Alto (lado izquierdo) y Bajo (lado derecho).*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

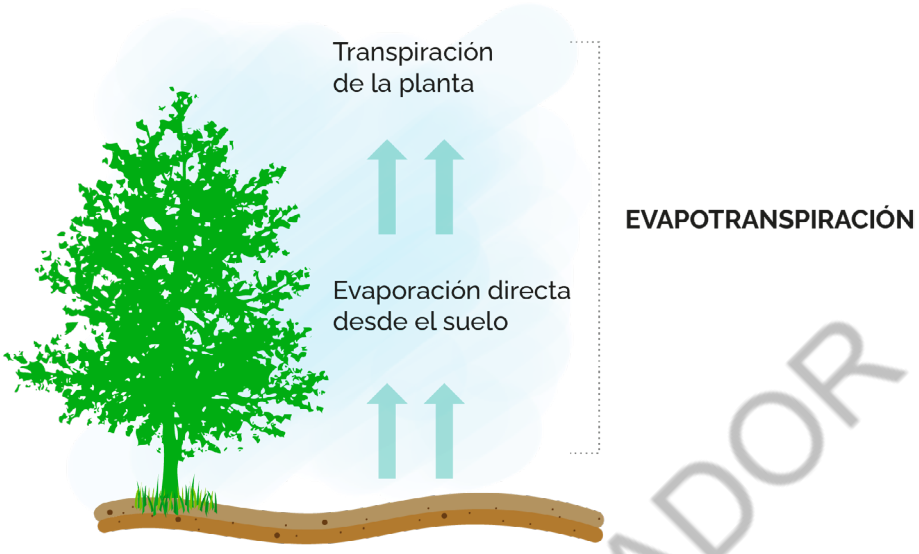


Figura 17. *Evapotranspiración.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Evapotranspiración (ETp)=
Evapotranspiración de referencia (ETo) x Coeficiente de jardineria (Kj)

ETp = ETo x Kj

Necesidad anual de riego mensual (NRPm)=
Evapotranspiración (ETp) x Factor de precipitación Efectiva

NRPm = ETp x KPe

necesidad anual de riego para paisajismo y jardinería. (NRP)=
Σ Necesidad de riego mensuales (NRPm)

NRP = Σ NRPm

Necesidades finales de agua de paisajismo y jardinería (NFP)=
Necesidad anual de riego (NRP) / coeficiente de eficiencia del sistema de riego (CER)

NPF = NRP / CER

Consumo de agua de riego para paisajismo y jardinería (ARP) =
Σ Necesidades finales de agua de paisajismo y jardinería (NFP) de todo el paisajismo y jardinería de todo el proyecto

NRP = Σ NRPm

VERSIÓN BORRADOR

Estrategias de uso eficiente de agua para exteriores (aseo, lavado o inodoros de zonas comunes).

**aplicable a criterio AA.3.4 del Sello SCCS.*

Para exteriores, cuyo uso principal se enfoca en lavado y mantenimiento de estos, la principal estrategia se debe enfocar a la no utilización de agua potable y reemplazarse por agua lluvia filtrada (ver apartado apartado 3.3 Aprovechamiento y manejo de aguas lluvias), la cual es considerada agua limpia y si bien no tiene implicaciones sobre la salud humana, esta no debe manejarse para uso potable, es por ello que el sistema que utilice esta agua para exteriores debe ser restringido y muy bien señalizado y ante todo, nunca mezclarse con otros tipos de agua, como por ejemplo aguas grises tratadas (ver apartado 3.4. Reducción de impacto de aguas servidas- vertimientos).

BORRADOR



Figura 18. *Ejemplo de aviso de agua no potable para usos distintos al consumo humano.*
Fuente: *https://www.senyals.com/media/catalog/product/s/e/senal-agua-no-potable-prohibido-beber.jpg*



Figura 19. *Ejemplo de grifería, sin llave accesible a público general y señal de aviso de agua no potable para usos distintos al consumo humano. La llave de apertura solo esta en posesión y manipulación del personal de mantenimiento*
Fuente: *https://us.123rf.com/450wm/rafaelbenari/rafaelbenari1510/rafaelbenari151001657/46575296-agua-prohibido-beber-cartel-sobre-el-tanque-de-agua-del-grifo-al-aire-libre-.jpg?ver=6*

Estrategias de uso eficiente de agua para paisajismo y jardinería.

**aplicable al apartado AA.2 JARDINERIA Y PAISAJISMO EFICIENTE EN AGUA, criterios AA.2.1, AA.2.2, AA.2.3 y AA.2.4 y al criterio AA.3.3. Reutilización de aguas lluvias para riego en áreas comunes del Sello SCCS.*

Para el caso de riego y mantenimiento de áreas verdes de paisajismo y jardinería, se recomienda la aplicación de las siguientes estrategias, que permitirán un uso eficiente del recurso agua y disminuirán el consumo de agua potable, pero estas estrategias no se enfocan en campos deportivos o áreas de césped de requerimientos especiales.

1. Aprovechamiento de aguas lluvias para riego

**aplicable al criterio AA.3.3 del Sello SCCS.*

Esta es una de las principales estrategias recomendadas, ya que no solo evita el consumo de agua potable, si no también aprovechar las aguas lluvias y al mismo tiempo reducir escorrentías, reducir el volumen de agua vertida sobre el sistema de alcantarillado y la vez permite la recarga de humedad del suelo. (ver apartado 3.3 Aprovechamiento y manejo de aguas lluvias).

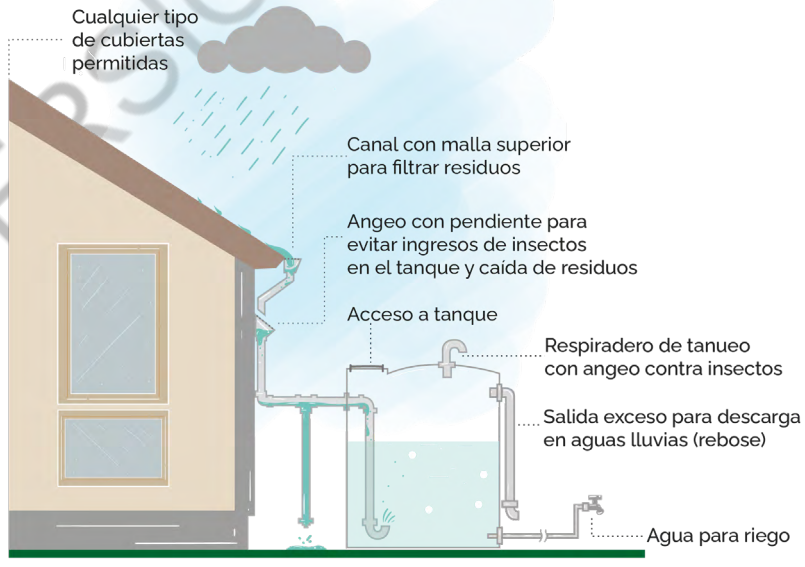


Figura 20. *Ejemplo de sistema sencillo de aprovechamiento de aguas lluvias para riego, con almacenamiento de aguas lluvias, malla de filtrado de partículas y mallas para control de insectos*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

2. Sistema de riego eficiente

**aplicable al criterio AA.2.1. del Sello SCCS.*

El manejo y sistema de riego dependerá de las particularidades del suelo, del diseño paisajístico, el tipo de vegetación y las necesidades de agua del mismo, pero un sistema eficiente puede permitir una reducción de casi el 50% de las necesidades de agua para su mantenimiento. Un sistema eficiente, busca como prioridad llegar más directamente al sustrato y la raíz de la planta y no perderse por evaporación cuando el agua se queda en otras áreas no esenciales como las hojas, zonas duras o se pierde por escorrentías. En el anexo 2, la tabla de comparación de eficiencias de los sistemas de riego muestra que el riego por superficie o indirecto como lo son por inundación, riego por manguera, son los menos eficientes dado que desperdician gran cantidad de agua, pues no se focalizan en el área importante y gran parte se pierde por evaporación.



Figura 21. *Prácticas de consumo ineficiente de agua para riego de exteriores: riego por manguera.*
Fuente: *https://image.made-in-china.com/202f0j00rdWQvRLtaegj/Portable-Garden-Sprinkler-with-Hose-Reel-Cart-for-Irrigation.jpg*



Figura 22. *Prácticas de consumo ineficiente de agua para riego de exteriores por riego por aspersión generalizada sobre plantas, gran parte se queda en las hojas y no en el suelo.*
Fuente: *https://m.media-amazon.com/images/I/91bBKi485QL._AC_SS350_.jpg*

En contraste, el riego localizado es más eficaz y con menor desperdicio, por eso son las que se recomiendan en este manual, estos riegos son:

1. Riego por microaspersión: tiene el mismo principio de los aspersores, pero de dimensiones más reducidas y generalmente su implementación es en superficies más reducidas por la presión crean una nube de agua fina con alcances de entre 3 a 7 metros.

2. Riego por micro aspersor o Cintas de exudación: son una combinación de riego por goteo y micro aspersor, pero no requiere gran presión, ya que por su tamaño reducido focaliza el riego en un área más pequeña, con alcance de no más de 1 metro.

3. Riego por goteo: son un sistema de riego muy localizado justo sobre cada planta, son más recomendados ya que solo se riega la planta o plantas en cuestión, pero requiere más cantidad de instalación (tuberías, conexiones, etc) y se debe tener claro las necesidades de las plantas a regar por su nivel de precisión requerida.

VERSIÓN BORRADOR



Figura 23. *Riego por microaspersión.*
Fuente: *https://img.fasttechcdn.com/509/5095100/5095100-4.jpg*



Figura 24. *Riego por goteo en materas interconectadas.*
Fuente: *https://diariodeunhuertico.files.wordpress.com/2015/04/riego_a_instalar.jpg?w=676*



Figura 25. *Riego por goteo.*
Fuente: *https://lh3.googleusercontent.com/proxy/gN6NUZSUSzQhjo18x6dIZuzOaFV29qFYRpxRxxUxuAOMd_HjG6D7ZWeMS88OI_dPjaeR5TMojADnAp7jVYjGkqBXUmTOiFwtE9K2hNRxToxYnJFYEi_bxlNj9WpETtYCgHxk*



Figura 26. *Riego por micro aspersor.*
Fuente: *https://huerto-urbano.info/wp-content/uploads/2018/10/50-piezas-de-plstico-ajustable-de-micro-riego-por-goteo-kit-de-riego-herramienta-antiobstruccin-emisor-de-goteo-0-3.jpg*

3. Manejo eficiente de la vegetación

**aplicable a los criterios AA.2.2, AA.2.3 y AA.2.4 del Sello SCCS.*

El manejo adecuado de la vegetación, basado en los requerimientos de agua, permite el consumo adecuado de la misma, sin necesidad de recurrir a sistemas complejos, entre las estrategias a destacar en dicho manejo se recomiendan:

1. **Selección de especies nativas de baja demanda de agua:** las especies propias del lugar, están adaptadas a la climatología propia con lo cual están en equilibrio con la disposición hídrica del mismo, adicionalmente hay especies que se caracterizan por requerir muy poca necesidad de agua para su preservación. Consultar El plan de silvicultura urbana o coberturas vegetales de Cali. (DAGMA – Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente., 2020) (criterio AA.2.2 del Sello SCCS).
2. **Retención de humedad por mantos orgánicos:** con la utilización de estos mantos se retiene mayor humedad y reducen la rápida evaporación, reduciendo las necesidades de agua, al mantener el sustrato húmedo, esto dependerá del tipo de vegetación seleccionada y las condiciones del lugar. (criterio AA.2.3 del Sello SCCS).
3. **Retención contra perdida agua:** la utilización de retenedores no porosos como materas o la delimitación de las áreas sembradas, evita la perdida por escorrentías sobre las superficies impermeables circundantes, con lo que un adecuado diseño, delimitado o con sistemas de drenaje sostenible, evita la escorrentía del agua de riego, por ejemplo, los jardines de infiltración. (ver Capítulo 1 de Tomo I – Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (Escala Urbana) y Capítulo 6 de Tomo II – Infraestructura Verde).
4. **Agrupación de plantas por necesidades de agua:** si bien la diversidad en la vegetación tiene beneficios, dicha diversidad genera demandas de agua diferentes según la especie, con lo cual agrupar especies por el nivel de agua requerida, permite el riego ser más eficaz y reduce el desperdicio por sobre riego innecesario. (criterio AA.2.4 del Sello SCCS).

BORRADOR



Figura 27. *Ejemplo de especies nativas de los farallones de Cali.*
Fuente: *fundación EcoVivero y universidad del valle. https://fieldguides.fieldmuseum.org/sites/default/files/rapid-color-guides-pdfs/973_colombia_ericaceae_gesneriaceae_anchicaya.pdf*



Figura 28. *Ejemplo de uso de mantos orgánicos que retienen mayor humedad.*
Fuente: *https://hgtvhome.sndimg.com/content/dam/images/hgtv/fullset/2016/6/8/1/CI_Preen-mulch.jpg.rend.hgtvcom.966.725.suffix/1465421463873.jpeg*



Figura 29. *Ejemplo de perdida de agua de riego por escorrentía por áreas vegetadas no limitadas de las áreas impermeables.*
Fuente: *https://www.berkeleyside.com/wp-content/uploads/2014/07/image.jpeg*



Figura 30. *Ejemplo de jardín delimitado de las áreas impermeables para reducción de escorrentías, jardín de infiltración.*
Fuente: *https://www.vioxinc.com/wp-content/uploads/2019/01/img_secondary-hero-project-weatherington-blvd-bioswales.jpg*



Figura 31. *Ejemplo de jardín con agrupación de plantas por requerimientos de agua.*
Fuente: *https://hgtvhome.sndimg.com/content/dam/images/hgtv/fullset/2016/6/8/1/CI_Walters-Gardens-Imperata-cylindrica-Red-Baron.jpg.rend.hgtvcom.966.725.suffix/1465421032325.jpeg*

3.3.

Aprovechamiento y manejo de aguas lluvias

VERSIÓN BORRADOR

Manejo de escorrentías

Reutilización de aguas lluvias

Métodos y uso de reutilización de aguas

**aplicable al apartado AA.3 REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS, criterios AA.3.1, AA.3.2, AA.3.3, AA.3.4 y AA.3.5 del Sello SCCS.*

Cuando se captan aguas lluvias para su aprovechamiento, se considera que el agua es limpia o tiene muy poca contaminación, por lo cual no requiere un tratamiento previo; la utilización de estas aguas se da entonces en sistemas simplificados (sistemas complejos son aquellos con proceso de tratamiento y depuración). Las aguas reutilizadas contempladas en este apartado no se consideran aptas para el consumo humano, en caso de que se requiera destinar estas aguas para consumo, deberán considerarse los lineamientos de calidad de agua especificados en el RAS 2010 y la normativa vigente expedidas por el Ministerio de Salud. La reutilización de aguas lluvias en un proyecto, pueden darse en su fase de obra (criterio AA.3.1) como durante su utilización (criterios AA.3.2, AA.3.3, AA.3.4 y AA.3.5) y pueden ser destinadas para siguientes usos (consultar Guía de Buenas Prácticas Ambientales para el sector de la construcción, DAGMA):

- Riego, consumos de lavado, llenado de sanitarios.
- Mezclas de químicos o materiales.
- Lavado de llantas de vehículos en obra.
- Lavado de herramientas de obras.
- Lavado de tinas y/ baldes de pintura
- Corte de ladrillo.
- Demás usos constructivos.

Pero en el presente Manual, se considera como uso principal de estas aguas durante la utilización del edificio para **el riego, consumo de lavado(aseo zonas comunes y exteriores) y llenado de sanitario,** siendo aquellos que se dan en edificaciones. Para otros usos, se deberá consultar la norma aplicable.

Este tipo de sistemas pueden aplicarse también durante la fase de construcción, para abastecer los aparatos sanitarios que apliquen para la reutilización de aguas lluvias, que en obra se recomienda se emplee para aseo y las baterías sanitarias. Para ello, se debe determinar de la misma manera el área de captación, el volumen de almacenamiento y permitir la posibilidad de abastecer con agua potable los aparatos cuando no se pueda abastecer con las aguas lluvias.

Como área de captación podrá ser considerada la cubierta del campamento. En cualquier caso, se deberá considerar el sistema de doble tubería, para abastecer los aparatos en caso de no tener reservas de aguas lluvias.

En la reutilización de aguas, proveniente de aguas lluvias (al igual que aguas grises), se debe considerar el uso de doble tubería y válvulas, para permitir el abastecimiento de la red hidráulica proveniente del acueducto, en caso de no poderse emplear las aguas reutilizadas.

La figura 32 muestra la configuración de las tuberías posible, para unidades de vivienda multifamiliares.

VERSIÓN BORRADOR

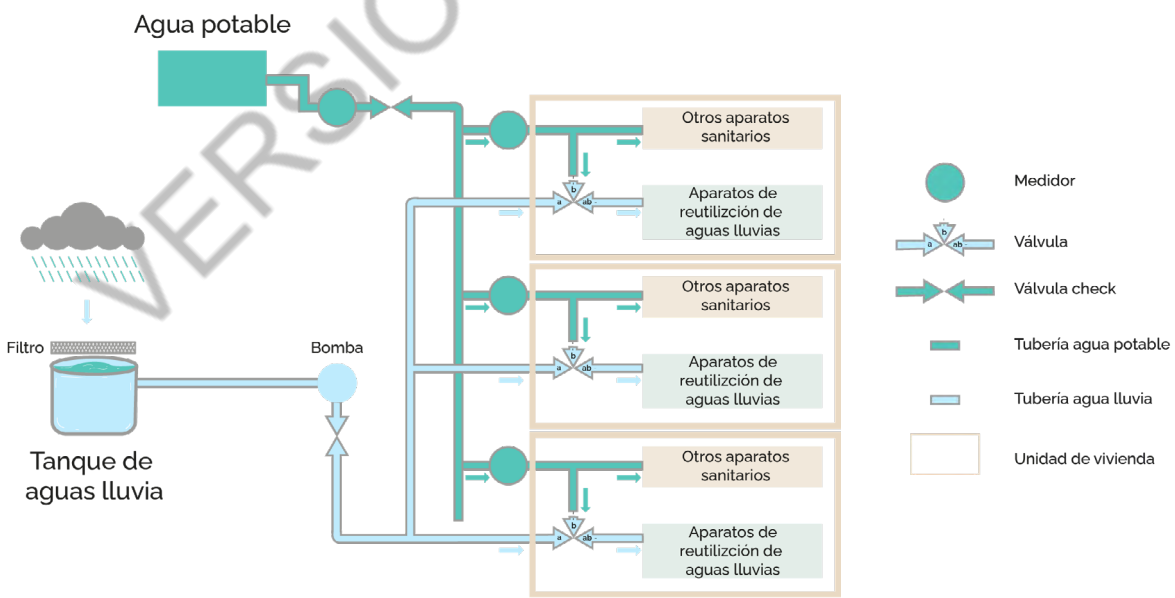


Figura 32. *Esquema configuración de sistema de reutilización de aguas lluvias.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Viabilidad del aprovechamiento de aguas lluvias

En la reutilización de las aguas lluvias, se debe considerar un ciclo del agua donde se evalúa el balance hídrico de los consumos y las fuentes de agua, para así determinar la viabilidad de la implementación del sistema de reutilización de aguas lluvias. El balance hídrico dependerá de cada proyecto y debe justificarse, según los consumos de los dispositivos hidráulicos que puedan usar aguas lluvia en sistemas simplificados (ver apartado 3.1. – Identificación de consumo de AGUA).

Un ejemplo esquemático de un balance hídrico, es el que se muestra en la figura a continuación, donde se identifica los componentes de oferta y demanda de agua. Se presenta un ejemplo de aplicación básico de la viabilidad de la reutilización de aguas lluvias, en el Anexo 3.

Para ello se debe evaluar los consumos que podría requerirse según el número de usuarios y equipos a abastecer o complementar con aguas lluvias, la cantidad de agua que puede captarse, la cantidad de agua a almacenar y el tiempo de duración del cual podría probablemente abastecer a los beneficiarios.

Para este Manual se deben implementar estas aguas en sistemas cerrados de usos no potables y de no contacto con directo con seres humanos, por temas de salubridad, según los usos descritos anteriormente.

VERSIÓN BORRADOR

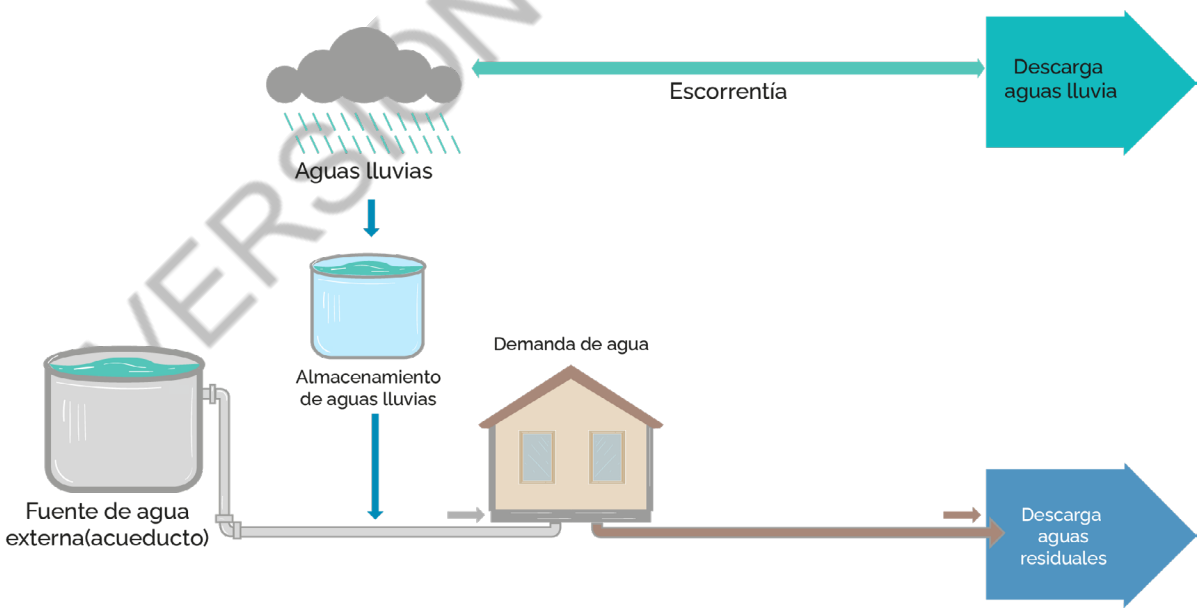


Figura 33. *Esquema de ciclo de reutilización de aguas lluvias a través de un balance hídrico.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Ciclo de reutilización de las aguas lluvias

Cuando se considera reutilizar las aguas lluvias en sistemas de edificaciones, se deben considerar las siguientes etapas:

1. **Captación:** corresponde a la fuente de las aguas, es decir, para el caso de aguas lluvias, corresponde a la escorrentía de las aguas que se presenta en las superficies, susceptibles de recibir precipitaciones. En el caso de una edificación, un sistema de captación puede ser una cubierta impermeable, que capta la totalidad de las aguas precipitadas.

2. **Transporte:** una vez captadas las aguas deben ser transportadas hacia el sitio de destino, que si bien, cuando no se emplea una reutilización de las aguas, éstas se evacúan hacia el alcantarillado pluvial o sitio de disposición de las aguas lluvias. En el transporte o conducción, pueden ser empleados canales y tuberías.

3. **Filtros:** los filtros permiten evitar la acumulación de sedimentos en los tanques de almacenamiento, puesto que, aunque suelen considerarse las aguas lluvias como aguas limpias, estas tienen la capacidad de transportar elementos provenientes de las superficies de captación. La sedimentación de partículas puede tener consecuencias a largo plazo, sin embargo, la implementación de filtros previos al almacenamiento de las aguas, debe estudiarse y justificarse según el proyecto.

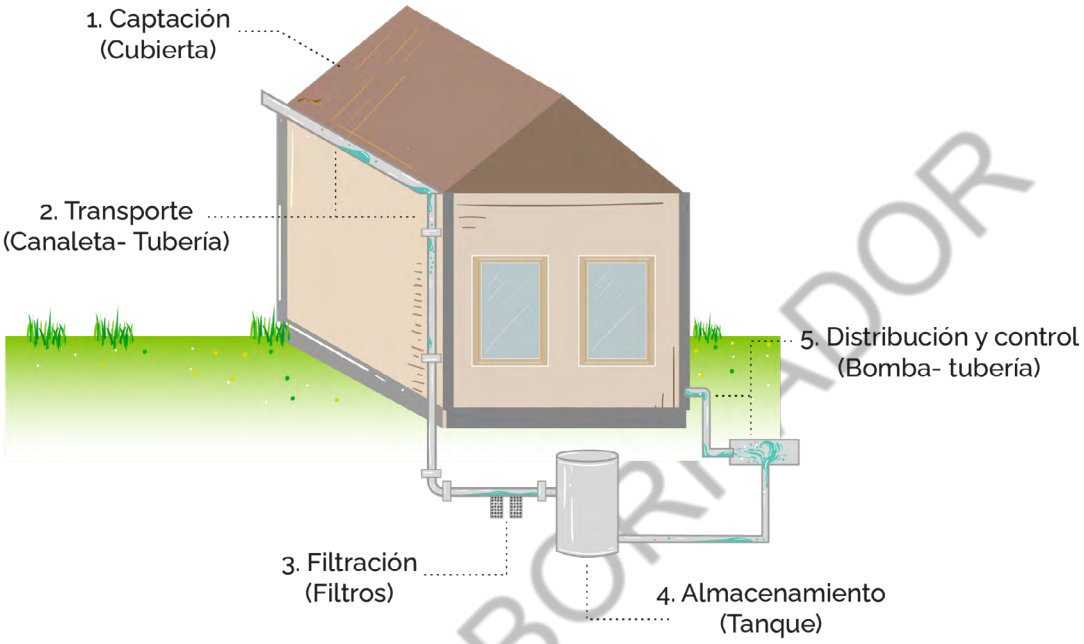
   En la implementación de los filtros debe considerarse tanto la fuente de agua, para estimar el tamaño y concentración de partículas que puede presentarse en las aguas captadas, y el uso destinado para la reutilización de las aguas recolectadas.

4. **Almacenamiento:** las aguas captadas, deben almacenarse tal manera que puedan ser posteriormente utilizadas o bien derivadas de forma controlada. El volumen del almacenamiento deberá determinarse considerando la lluvia que puede llegar al sistema y a su vez el flujo que sale del mismo; según las especificaciones del proyecto.

   El material del elemento de acumulación debe ser tal que no altere la calidad de las aguas. El sistema de almacenamiento puede consultarse en el anexo 3, como ejemplo de un sistema de reutilización de aguas y en el anexo 4, donde se encuentran algunos tipos de sistemas de almacenamiento.

5. **Sistemas de control y distribución:** los sistemas de control pueden ser requeridos o no según la finalidad de las aguas, en el caso de tanques de regulación de aguas lluvias, debe controlarse el caudal que sale del tanque hacia el alcantarillado pluvial. El control depende entonces, de las necesidades del proyecto. Así mismo, debe evaluarse la distribución de las aguas, según las necesidades del proyecto.

VERSIÓN BORRADOR



1. Depende escencialmente del tipo de superficie, su capacidad de infiltrar y el área sobre la cual tiene la capacidad de captar aguas.

2. Pueden utilizarse diferentes tipos de materiales y secciones, pero debe evaluarse su capacidad y la limpieza de los conductos o canales.

3. Depende de la fuente de aguas captadas y su pureza, al igual que el uso destinado y los límites de partículas admisibles.

4. Deben considerar tanto el consumo o descarga, como la capacidad de llenado según los eventos de precipitación.

5. Según ubicación del almacenamiento pueden requerir un sistema de bombeo para garantizar presión o altura. Para consumo, deberá considerar tuberías dobles y válvulas adicionales.

Figura 34. *Modelo esquemático de reutilización de aguas lluvias.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

Cuantificación de las aguas lluvias

En el manejo de las aguas lluvias, se debe cuantificar el flujo de agua de escorrentías que puede generarse con el fin de dimensionar las obras asociadas al manejo de estas aguas. El presente Manual propone una metodología más detallada a la contemplada en la Resolución 0549, la cual toma el promedio de toda la ciudad y usa un método simplificado. Dado que la ciudad de Cali tiene zonas con niveles pluviométricos distintos, esta información hace parte de dicho detallamiento, además, se deben aplicar modelos de escorrentía o trabajar con tablas con información consolidada como es el caso de los criterios del Código de Fontanería (ICONTEC / Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2017).

Entre un diverso número de modelos de escorrentía, se destaca el método racional, que es recomendado para áreas drenantes inferiores a 80 ha, donde no se requiera la evaluación de hidrogramas de crecientes. En el caso de modelos que requieran evaluar la distribución temporal de las aguas, a través de hidrogramas de crecientes o se consideren áreas mayores, se deben emplear otro método, como el que propone el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, empleando el número de curva (CN); también conocido como el método del SCS-CN. En este método se contempla el siguiente procedimiento resumido así (para mayor detalle ver Anexo 3).

Intensidad de lluvia

La intensidad de las precipitaciones suele representarse a través de las curvas Intensidad — Duración — Frecuencia (IFD) determinadas a partir de registros de precipitación en estaciones climatológicas. Para ello, pueden emplearse las curvas del IDEAM o curvas determinadas por entidades locales como es el caso de EMCALI, que para Santiago de Cali, se especifican tres (03) zonas diferentes en las cuales se han determinado las ecuaciones de las curvas IDF. Cada ecuación para determinar el valor de la intensidad de lluvia, depende del tiempo de lluvia (t) y el periodo de retorno (Tr).

Periodo de retorno

El periodo de retorno se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un evento, es decir, con qué frecuencia se puede llegarse a presentar al menos una vez el valor asociado al mismo. Para ello, EMCALI define diferentes condiciones de periodos de retorno, en la que establece en su tabla 2 (tabla 9) los valores de períodos de retorno de acuerdo con el tipo de conducto a utilizar para el transporte de las aguas lluvias, el grado de protección, con las características del área de drenaje y el tamaño total de dicha área; sin embargo, se recomienda consultar los propuestos por el RAS 2017 en el artículo 135.

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE DRENAJE	PERIODO DE RETORNO
Redes secundarias con áreas tributarias menores de 2 Ha	3 años
Colectores con áreas tributarias menores a 10 Ha	5 años
Colectores con áreas tributarias mayores a 10 Ha	10 años
Canales abiertos - Sección revestida	25 años
Canales abiertos - Sección total	100 años

*cuando se presenten áreas de uso mixto, EMCALI EICE E.S.P. definirá el período de retorno en cada caso, dependiendo del uso del suelo de mayor peso porcentual y su importancia relativa.

Tabla 9. *Periodo de retorno según tabla 2 de EMCALI para aguas lluvias.*
Fuente: *EMCALI EICE ESP, 2017.*

VERSIÓN BORRADOR

Coeficiente de escorrentía

Al emplear un material u otro para un área susceptible de recibir aguas por efecto de las precipitaciones, puede variar su capacidad de generar escorrentía, por lo cual se debe evaluar esta condición del material.

En el método racional, la variable que responde a la capacidad de generar escorrentía es el coeficiente de escorrentía, denotado C. Para ello, existen diferentes valores, entre los cuales se propone los recomendados por el RAS.

TIPO DE SUPERFICIE	C
Cubiertas	0,90
Pavimimentos asfálticos y superficies de concreto	0,90
Vías adoquinadas	0,85
Zonas comerciales o industriales	0,90
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, predominio de zonas verdes y parques - cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,30

Tabla 10. *Coeficientes de impermeabilidad.*
Fuente: *Tabla D.4.7, RAS 2000.*

VERSIÓN BORRADOR

Metodología propuesta por el código de fontanería (NTC 1500)

Todas las áreas de una edificación son susceptibles a convertirse en áreas de evacuación de aguas lluvias, por ellos para el cálculo de los drenajes asociados a estas superficies, el código de fontanería, establece unos cuadros para dimensionamiento de las tuberías para el drenaje de aguas lluvias (lluvia de 30 min y un periodo de retorno de 15 años) aplicable para el cálculo de cubiertas. Para el dimensionamiento de tuberías horizontales, debe conocerse adicionalmente, la pendiente con la cual se podrá establecer la tubería. Las tablas anteriormente mencionadas, se encuentran en el Anexo 03 y en el apartado 12.1.11.1 del código de fontanería (NTC 1500).

Método racional, según EMCALI

El método racional es uno de los modelos empíricos más simples y comúnmente utilizado para determinar caudales en áreas de drenaje pequeñas. Se debe considerar que, para áreas de drenaje superiores a 100 ha, debe aplicarse un factor de reducción, contemplado en el Reglamento de Saneamiento Básico y la normativa local; sin embargo, se recomienda considerar un método diferente al método racional para áreas tributarias superiores a 80 ha. En los "Criterios de diseño en sistemas de Alcantarillado" (EMCALI NDI-SE-RA-007), la entidad presenta la ecuación del método racional tal que:

$$Q = 2.78 (C * I * A)$$

Donde:
Q = Caudal pico de aguas lluvias (L/s)
C = Coeficiente de escorrentía
I = Intensidad de precipitación (L/s.ha)
A = Área tributaria (Ha)

La intensidad debe ser determinada a partir de las curvas IDF, considerando el parámetro t de las curvas de ajuste, como el tiempo de concentración. Tanto el RAS 2000 y la norma técnica de EMCALI anteriormente mencionada, se refieren al mismo método de cálculo descrito brevemente a continuación. (ver anexo 2).

Sistemas de almacenamiento

El almacenamiento de las aguas lluvias, suele aplicarse para su posterior reaprovechamiento en sistemas de reutilización de las aguas, o bien almacenar las aguas para luego evacuarlas de manera regulada hacia un sistema de recolección de aguas lluvias (alcantarillado pluvial). En cualquier caso, dependiendo de las necesidades del proyecto, pueden emplearse diferentes tipos de tanques, estos se presentan en el Anexo 4. En el mismo anexo se presentarán algunas recomendaciones para el dimensionamiento de tanques para la reutilización de aguas.

Adicionalmente, como alternativa a los tanques de regulación, pueden emplearse humedales o lagunas que cumplen con el mismo propósito de regular las aguas.

Las consideraciones de diseño para estos sistemas de almacenamiento de las aguas son más complejas y debe evaluar diferentes componentes como la infiltración de aguas, la sedimentación de partículas en el fondo del humedal y posiblemente las condiciones biológicas que puedan estar relacionadas.

Reducción de escorrentías

Las cubiertas en edificaciones pueden considerar diferentes tipos de material, los cuales corresponden a cubiertas representadas por materiales impermeables (concreto convencional, láminas metálicas, PVC, u otros) que drenan la totalidad de las aguas precipitadas sobre su superficie. Por otra parte, también se pueden considerar cubiertas con superficies permeables, tales como cubiertas verdes, gravas, concretos permeables, y otros materiales (ver Capítulo 1 del Tomo I – Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (Escala Urbana) y Capítulo 6 del Tomo II – Infraestructura Verde). Para reducir la capacidad de escorrentía de una superficie pueden emplearse superficies permeables, que facilitan la infiltración de las aguas y según el material, puede cuantificarse con mayor precipitación el flujo de agua que escurre sobre la superficie. Para el uso de esos coeficientes de escorrentía en la reducción de escorrentías, consultar el anexo 5 y para el uso de superficies permeables para la reducción de aguas que drenan superficialmente sobre una superficie, consultar (ver Capítulo 1 del Tomo I – Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (Escala Urbana) y Capítulo 6 del Tomo II – Infraestructura Verde de este Manual).

VERSIÓN BORRADOR

Áreas exteriores

Para áreas exteriores suelen considerarse sistemas integrados orientados al urbanismo, como es el caso de los SUDS.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) son medidas que garantizan un adecuado manejo y mantenimiento de las aguas lluvias en centros urbanos.

Cuando se desea implementar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en el proyecto deben considerarse las recomendaciones especificadas en el capítulo 1 del Tomo I – Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (Escala Urbana) – SUDS de este Manual y el capítulo 2 de la Guía de Buenas prácticas para el sector de la construcción.

Se destacan múltiples componentes en este tipo de sistemas, por lo cual deben desarrollarse los estudios para la implementación de los mismos, contemplando los diferentes procesos asociados a la descarga de las aguas en cauces natural o al sistema de alcantarillado municipal.

Niveles de reducción de consumos por utilización de aguas lluvias

**aplicable al apartado AA.3 REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS, criterios AA.3.1, AA.3.2, AA.3.3, AA.3.4 y AA.3.5 del Sello SCCS.*

Los posibles niveles que pueden alcanzarse en la reducción de consumo de agua potable, a través de la reutilización de aguas lluvias consideran diferentes variables; entre estas están dos variables fundamentales:

1. **La oferta de agua lluvia**
2. **La demanda de agua requerida**

En este orden de ideas, se debe determinar cuál es la oferta hídrica, es decir el agua que probablemente puede captarse en cada mes, según los registros de precipitación y la determinación de caudales y realizar la comparación con respecto a la capacidad de almacenamiento y los caudales de consumo.

VERSIÓN BORRADOR

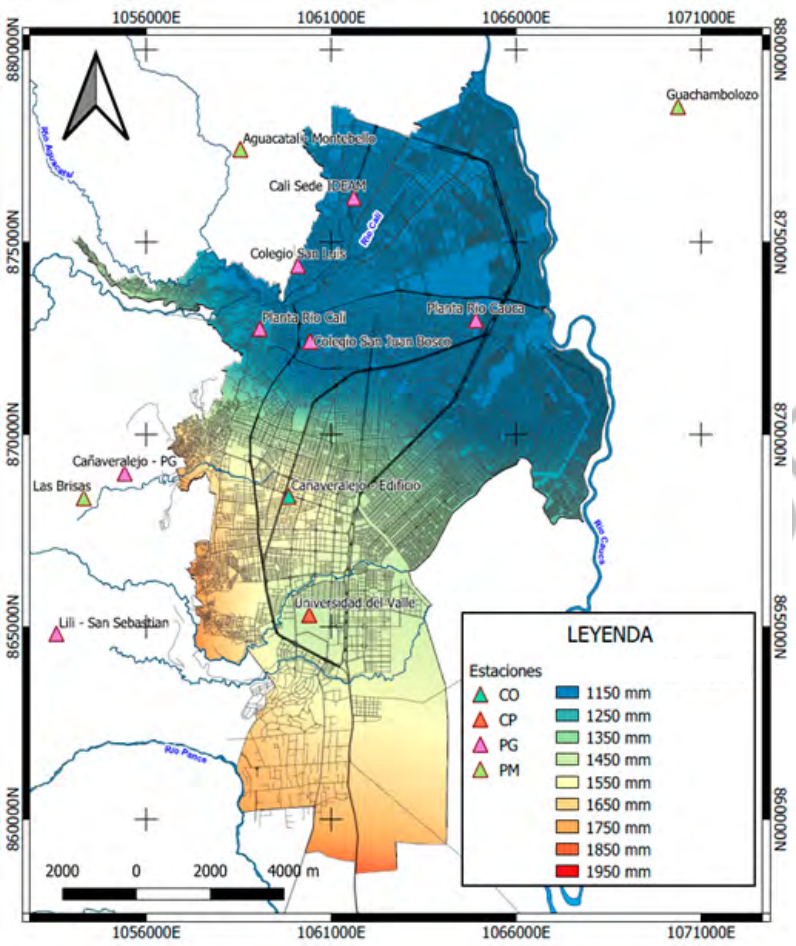


Figura 35. *Mapa de isoyetas con precipitaciones anuales promedio en el casco urbano de Santiago de Cali y zona de expansión.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Las precipitaciones varían considerablemente en la ciudad, por lo cual se recomienda que este análisis se realice puntualmente según las precipitaciones del sector donde se desea desarrollar el proyecto y considerar la variación en el año de las precipitaciones.

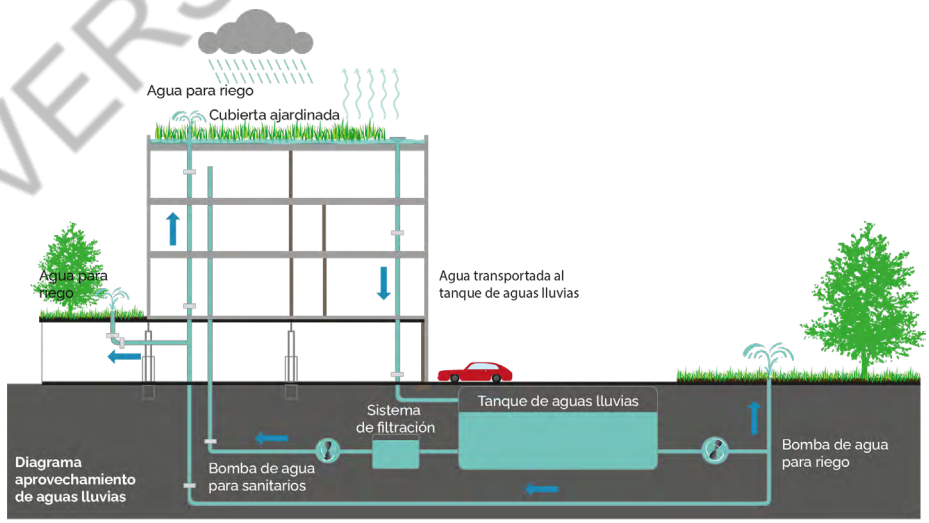


Figura 36. *Enfoque de captación y reutilización de aguas lluvias del presente manual.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN

3.4.

Reducción de impacto de aguas servidas - vertimientos

VERSIÓN BORRADOR

**aplicable al apartado AA.4 REDUCCIÓN DEL IMPACTO DE LAS AGUAS SERVIDAS del Sello SCCS*

Con el fin de disminuir o minimizar los niveles de contaminación en las fuentes hídricas, en Santiago de Cali las aguas servidas se vierten parcialmente al río Cauca luego de ser tratadas en la PTAR Cañaveralejo. Dichas aguas no cumplen de manera permanente los índices de calidad por el aumento de las construcciones, lo que se traduce en mayor presión sobre las fuentes hídricas.

Adicionalmente, gran parte de las aguas servidas son mezcladas y vertidas a la red de alcantarillado, con lo cual se desaprovecha la posibilidad de su separación de las aguas negras y, por ende, su potencial reciclaje y reutilización a través de métodos sencillos para su destinación a usos no potables.

Tratamiento de aguas servidas

Pretratamiento de aguas grises

Las aguas grises son las que se derivan de aparatos sanitarios como duchas, lavamanos, lavaplatos, lavadoras, lavavajillas, no contienen materia fecal, solo jabones, espumas y grasas, lo que posibilita su almacenamiento y tratamiento para destinarla a usos no potables como sanitarios y riego de exteriores. Por consiguiente, para garantizar la seguridad y correcto uso, las aguas grises deben incorporarse a un sistema cerrado de suministro, distinto al del agua potable que evite una manipulación errónea. En caso que no se desee reutilizar, el pretratamiento de estas aguas puede reducir la cantidad de contaminación que deberán ser tratada al final del transporte del alcantarillado a la PTAR, pero se estaría perdiendo el potencial de reutilización y de reducción de la demanda de agua potable.

Estrategias de pretratamiento de aguas grises

Los métodos de tratamiento de aguas grises se pueden resumir en las siguientes 3 técnicas más comunes:

Métodos naturales

También conocidos como físicos o biológicos, son métodos de depuración natural, cuyo procedimiento es el tratamiento principal es basado en componentes del medio natural. Existen dos grandes grupos dentro de este método, los métodos de tratamiento mediante aplicación en el terreno y los sistemas acuáticos, pero en los dos, la acción de depuración se debe a la acción de la vegetación, suelo, microorganismos (terrestres y acuáticos) y en menor medida, sin la intervención de agentes artificiales, pero se caracterizan por menor necesidades de personal de operaciones, menor consumo energético y menor producción de fangos. Sin embargo, normalmente sí requieren mayores área y superficie de terreno disponibles para su correcto procesamiento. De dichos grupos se recomienda principalmente la aplicación en terreno, ya que este evita el contacto con seres humanos o mascotas, limitando al máximo posible riesgo de salubridad y evita el hábitat para insectos. En la parte del componente de acción fisca se destaca por decantación de las grasas propias de jabones y sustancias propias de aguas grises, entre ellas las trampas de grasas y el filtrado por los grupos mencionados anteriormente.

En este método, unos de los recursos más utilizados son los humedales artificiales o jardines de infiltración y en general este es considerado como uno de los más sostenibles.

VERSIÓN BORRADOR

Métodos químicos

Este método ya involucra agentes químicos para la depuración y en su mayoría necesitan un filtrado previo, como las trampas de grasas para central la acción de los químicos sobre el agua resultante, aunque las tecnologías al respecto son muy amplias, pero su implementación es mucho más estricta y de mayor control por el manejo de personal y manejo de químicos altamente especializados.

Métodos híbridos

Estos combinan los dos métodos anteriores y son tecnologías normalmente ya cerrados en un sistema supremamente controlado, son tecnologías previstas por empresas y fabricantes, con mayor nivel de inversión y complejidad técnica, estas son más cercanas a las plantas de tratamiento PTAR locales.

VERSIÓN BORRADOR

MÉTODOS NATURALES DE TRATAMIENTO	
Tratamiento en el terreno	**Sistemas acuáticos**
Infiltración lenta	Humedales
Infiltración rápida	Lagunajes
Flujo superficial	Cultivos acuáticos

Tabla 11. *Métodos naturales de tratamiento de aguas grises.*
Fuente: *IGME,1995.*

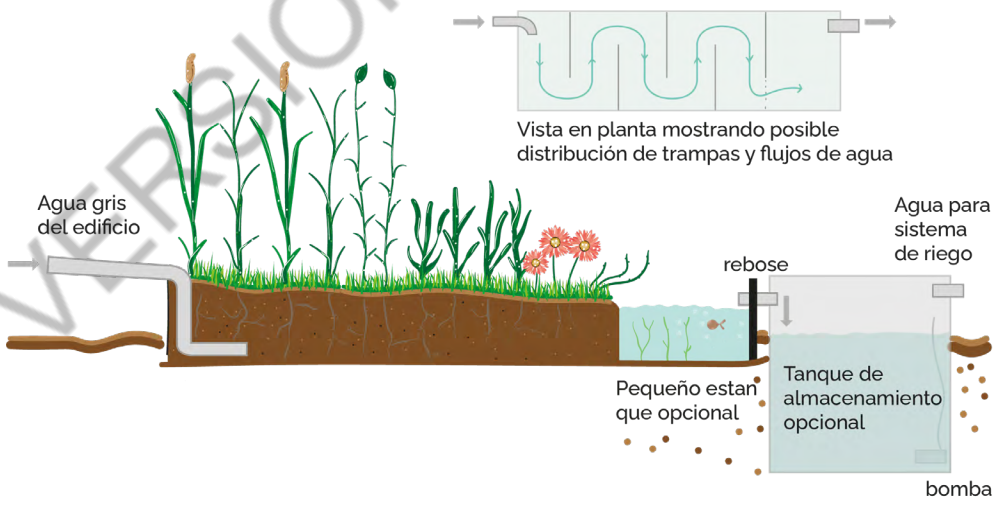


Figura 37. *Ejemplo de sistema natural de depuración por cámaras de flotación, depuración y decantación.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

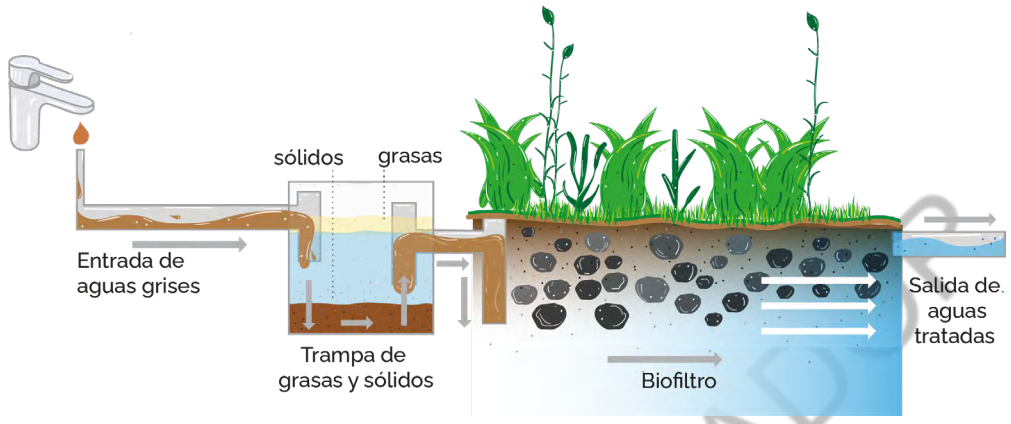


Figura 38. *Ejemplo de sistema natural de depuración por trampa de grasas, flotación y biofiltración.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Las estrategias de tratamiento más utilizadas que se describen a continuación dependerán de su elección según la complejidad y enfoque del proyecto, en cuanto al uso final de las aguas, el nivel técnico a requerir y el futuro mantenimiento requerido. Cabe destacar que los métodos en general requieren de los siguientes componentes básicos o sistemas:

Sistema de recolección:

Recogerá y almacenará para llevarse al sistema de tratamiento posterior, este caso puede ser el porcentaje de aguas grises exigidos por el manual para la obtención del puntaje requerido o puede ser la totalidad de aguas grises generada, según el objetivo y enfoque del proyecto.

Sistema de tratamiento:

Para ello existen distintos métodos, que se describen más adelante y dependerá del uso final si para verterse o reutilizarse.

Pero dicho pretratamiento reduce los contaminantes y el agua resultante es más cercana a las aguas lluvias, aunque por la normativa nacional y local, el vertimiento deberá hacerse sobre el sistema de aguas servidas o si es el caso hacia el sistema de reutilización.

Sistema de reúso (opcional para la estrategia de aprovechamiento de guas grises):

Permite almacenar el agua ya tratada, para ser repartida en la red de distribución de agua reciclada que debe ser independiente de la red de agua potable, esta red de agua reciclada puede ser complementada con la red de suministro de agua (potable) cuando les demandas lo requieran, pero no a la inversa.

VERSIÓN BORRADOR

Estrategias de aprovechamiento de aguas grises

**aplicable al criterios AA.4.1del Sello SCCS.*

Con el pretratamiento de aguas grises, su aprovechamiento se hace más factible y fácil de ser incorporado, este aprovechamiento de aguas grises ya cumple y puede apuntar a dos medidas del Manual para obtener el sello SCCS, por un lado, la reducción de consumo de agua potable tanto en interiores como en exteriores y por otro lado, la reducción del impacto de vertimiento de aguas servidas, con lo cual esta estrategia abarca varios impactos sostenibles asociados al agua, siendo una estrategia altamente recomendada. Para esto, se debe cumplir con lo establecido en la Resolución 0631 de 2015 *"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"*.

La reutilización aguas grises, promovida por el presente Manual, se acepta solo para el uso de un sistema de red cerrado para provisión de agua para inodoros, lavandería y riego de jardinería, que evite contacto o manipulación con el ser humano o animales por cuestiones de salubridad. Se pueden complementar con aguas lluvias y agua de acometida de acueducto (agua potable) en caso de requerirse mayor volumen de agua por demanda, pero esta agua reutilizada, no podrá complementar el sentido contrario hacia aguas lluvias almacenadas y menos hacia el agua potable, por lo que se debe tener en cuenta esta claridad en el diseño hidráulico.

El cálculo dependerá del sistema a ser implementado, ya que cada método tiene un proceso, pérdidas, evaporaciones y condiciones muy distintas, lo que se debe tener en cuenta es el cálculo de volumen de aguas grises generadas, que como método simplificado se acepta como balance hídrico que la demanda de agua de los aparatos sanitarios que producen aguas grises acá aceptadas: duchas, lavamanos, lavaplatos y lavadoras, sea el mismo volumen de agua gris generada.



Figura 39. *Esquema de reutilización de aguas grises tratadas.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

Cálculo de desempeño de global de eficiencia en agua de edificios

**aplicable a todo el componente EFICIENCIA Y AHORRO DE AGUA AA del Sello SCCS.*

Para los proyectos cobijados por la Resolución 0549, estos están obligados a su cumplimiento en cuanto a consumos por medio de 2 métodos:

1. **Método prescriptivo**
2. **Método de cálculo de desempeño.**

Nota: consultar la Resolución 0549 de 2015.

Para el caso de los demás tipos de proyectos, así como para zonas exteriores y para riego, que no contempla dicha resolución, el consumo global (unidades privadas y zonas comunes) se determina usando el proceso descrito en este manual y sumando sus demandas totales.

Adicional a ello para establecer el nivel de aprovechamiento de aguas lluvias, reducción de vertimientos de aguas grises y de aguas negras y la reutilización de aguas grises, se debe hacer un cálculo de balance hídrico para estimar el agua de entrada externa (acueducto) de fuentes internas (agua lluvia) las aguas grises y negras generadas, con base en dicho balance establecer que volumen de aguas grises reutilizables (riego, inodoros, lavadoras) para establecer la reducción de demanda de agua potable y finalmente, de ser el caso establecer el porcentaje de aguas grises y negras pretratadas antes de ser vertidas al sistema de alcantarillado.

VERSIÓN BORRADOR

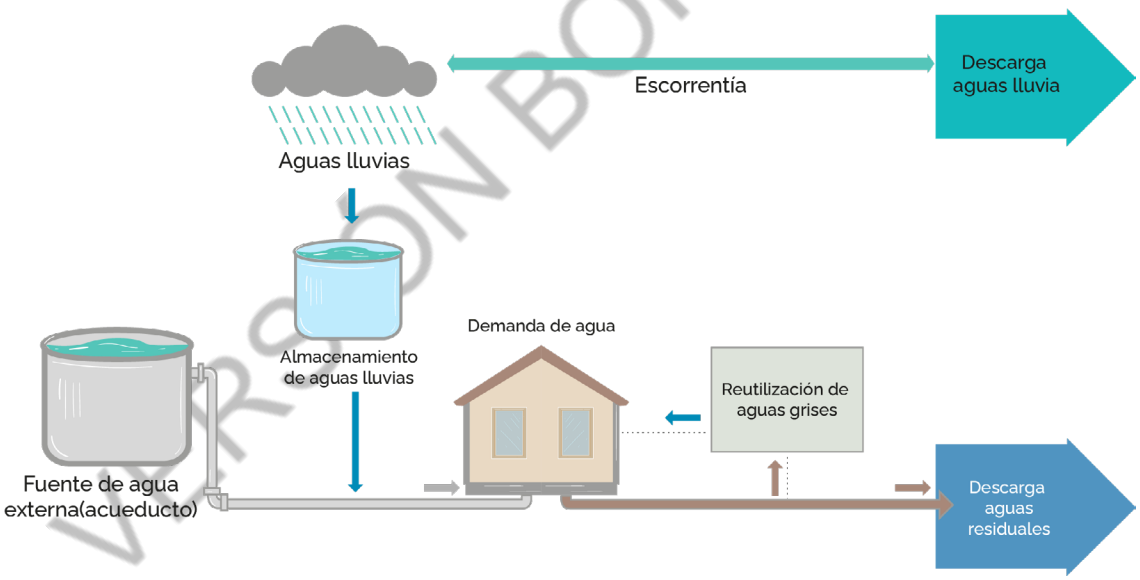


Figura 40. *Esquema de ciclo de reutilización de aguas (lluvias y grises) a través de un balance hídrico.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

3.5.

Incentivos tributarios

VERSIÓN BORRADOR

Incentivos nacionales

A la fecha de este Manual y la vigencia del mismo, existen distintos incentivos nacionales a las practicas sostenibles, entre ellos el Decreto 2205 del 26 de diciembre de 2017, frente a la Agencia Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, por proyectos enfocados al control del medio ambiente, a partir de resultados medibles y verificables relacionados con la disminución en la demanda de recursos naturales renovables, a la prevención y/o reducción en la generación de residuos líquidos, emisiones atmosféricas o residuos sólidos.

Además existen otras posibilidades financieras que cobijan a los proyectos que obtengan certificaciones de proyectos de construcción sostenible a través de bonos verdes por parte de entidades financieras.

Incentivos locales

Para la obtención del Sello Cali, Construye Sostenible — SCCS, existen algunos beneficios e incentivos locales que abarcan a todo el sello, según el nivel logrado y no a componentes individuales como es en el caso de agua.

Nota: consultar los beneficios e incentivos tributarios asociados a este sello SCCS.

Términos y Definiciones

AGUA POTABLE	Es aquélla que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el decreto 1575 de 2007 y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal.
AGUAS GRISES	Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, y otros artefactos que no descargan materias fecales.
AGUAS LLUVIAS	Aguas provenientes de la precipitación pluvial (Res. 0330 de 2017).
AGUAS NEGRAS	Agua de desecho que se encuentra contaminada con sustancia fecal y orina, que proceden de los desechos orgánicos tanto de animales como de los humanos.
AGUAS RESIDUALES TRATADAS	Son aquellas aguas residuales, que han sido sometidas a operaciones o procesos unitarios de tratamiento que permiten cumplir con los criterios de calidad requeridos para su reúso.
AGUAS SERVIDAS	Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.
APARATO HIDROSANITARIO	Equipo o dispositivo permanente conectado al sistema de distribución de agua de los recintos y que requiere suministro de agua de ese sistema; que descarga aguas servidas, desperdicios llevados por las aguas o aguas residuales, directa o indirectamente al sistema de desagüe y requiere de ambos, una conexión al suministro de agua y una descarga al sistema de desagüe.
COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	Valor entre 0 y 1 que determina la capacidad que tiene una superficie para generar escorrentía.
CURVAS IDF (INTENSIDAD — DURACIÓN — FRECUENCIA)	Curvas que sintetizan las características de los eventos extremos de precipitación de una zona en específico, definiendo la intensidad de lluvia, para diferentes duraciones de lluvia y diferentes periodos de retorno. (Resolución, 0330 de 2017).

VERSIÓN BORRADOR

DEMANDA HÍDRICA	Comprende la sustracción de agua del sistema natural destinada a suplir las necesidades y los requerimientos de consumo humano, producción sectorial y demandas esenciales de los ecosistemas existentes sean intervenidos o no (Ideam, 2014).
ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	Cuando se trata de aguas precipitadas sobre una superficie, la escorrentía superficial se refiere a la lámina de agua que se forma por encima de la superficie.
ESCORRENTÍA	Proceso físico que consiste en el escurrimiento del agua de lluvia por la red de drenaje hasta alcanzar la red fluvial, siendo este uno de los procesos básicos que se del ciclo del agua.
GRIFO	Una válvula al final de la tubería a través de la cual el agua es descargada o mantenida dentro de la tubería.
HUELLA HÍDRICA (HH)	Puede entenderse como un indicador que refleja el uso, consumo y contaminación de agua de forma directa e indirecta y permite analizar las implicaciones ambientales, sociales y económicas del uso de agua en distintos ámbitos geográficos.
INFILTRACIÓN	Proceso mediante el agua las aguas lluvias penetran al sub-suelo o una superficie permeable.
PERIODO DE RETORNO	Ventana de tiempo en promedio en la cual se iguala o se supera la magnitud de un evento extremo.
PRECIPITACIÓN	Cantidad de agua que cae en una superficie durante un tiempo determinado (Resolución 0330, de 2017).
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, que realiza la limpieza del agua usada y las aguas residuales para que pueda ser devuelto de forma segura al medio ambiente.
REÚSO O REUTILIZACIÓN	Es la utilización de las aguas residuales tratadas cumpliendo con los criterios de calidad requeridos para el uso al que se va a destinar.
SUD's	Sistemas Urbanos de drenaje sostenible.
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	Tiempo de recorrido de la escorrentía superficial desde el punto más alejado de la cuenca o área tributaria hasta el punto de salida en el cual se ha considerado (Resolución 0330, de 2017).

VERSIÓN BORRADOR

VERSIÓN BORRADOR

Eficiencia y ahorro de energía

TOMO II | Capítulo 4

ÍNDICE DE CONTENIDO

TOMO II | Capítulo 4

		Pág.
A.	**CONTEXTO.**	361
B.	**MARCO REGULATORIO.**	362
	- Marco regulatorio e incentivos para proyectos de FNCE y EE en Colombia.	
1.1.	**ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AHORRO DE ENERGÍA PARA EDIFICACIONES.**	368
	EE.1. MEDICIÓN Y MONITOREO. EE.1.1. Medición calibrada en cuatro cuadrantes y/o por sectores y centros de consumo. EE.1.2. Monitoreo remoto en tiempo real — evaluación de matriz horaria.	373
	EE.2. EQUIPOS EFICIENTES. EE.2.1. Equipos con etiqueta y calificación de eficiencia energética.	378
	EE.3. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL. EE.3.1. Controles de ocupación y/o iluminación exterior. EE.3.2. Corrector del factor de potencia. EE.3.3. Variadores de frecuencia.	380
	EE.4. CARGADORES DE V.E. EE.4.1. Puntos de carga para vehículos eléctricos.	383
	EE.5. CALENTAMIENTO SOLAR. EE.5.1. Sistemas de calentamiento de agua solar.	384
	EE.6. GENERACIÓN ELÉCTRICA PARA AUTOCONSUMO. EE.6.1. Cubiertas con soporte de carga estructural de 15 kg / m². EE.6.2. Sistemas de FV de conexión a red con generación mayor o igual al 10% del consumo de la edificación. EE.6.3. Sistemas FV de conexión a red y almacenamiento de energía – sistema hibrido.	387

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metas de ahorro PROURE 2017-2022 por sectores económicos.
Tabla 2. Acciones sectoriales PROURE.
Tabla 3. Líneas base de consumo por zona climática establecidas en la Resolución 0549.
Tabla 4. Definición de zonas climáticas establecidas en la Resolución 0549.
Tabla 5. Factura de energía con excedentes de energía solar remunerados.
Tabla 6. Matriz de sensores de movimiento.
Tabla 7. Estimación de generación de energía, requerimiento de área, peso y precio del proyecto para diferentes tipos de usos en diferentes zonas climáticas.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo general estipulado en norma ISO 50001.
Figura 2. Plan de Gestión Integral de Energía (GIE).
Figura 3. Estrategia de medición de energía bidireccional.
Figura 4. Perfil de consumo horario discriminado por días.
Figura 5. Perfil de consumo horario y perfil de generación fotovoltaica sin excedentes.
Figura 6. Perfil de consumo horario y perfil de generación fotovoltaica con excedentes.
Figura 7. Etiqueta de eficiencia energética.
Figura 8. Equipos que portan etiqueta y fecha de inicio para su implementación.
Figura 9. Esquema de sistema de control de ocupación de espacios.
Figura 10. Esquema de conexión individual, grupo o central de banco de condensadores.
Figura 11. Tipos de conectores en cargadores de vehículos eléctricos.
Figura 12. Calentadores solares de placa plana y de tubos evacuados.
Figura 13. Colectores solares sin aislamiento.
Figura 14. Dimensiones colectores solares térmicos de placa plana.
Figura 15. Dimensiones calentadores solares térmicos de tubos evacuados.
Figura 16. Elementos de soporte y fijación de estructuras de montaje con EPDM.
Figura 17. Tipos de estructura para la instalación de paneles solares en edificaciones.
Figura 18. Estructura de montaje en dos orientaciones y 10° de inclinación para cubierta plana.
Figura 19. Estructura de montaje en una orientación y 10° de inclinación para cubierta plana.
Figura 20. Elemento de fijación de estructura de montaje a subestructura de techo con teja de barro.
Figura 21. Elemento de fijación de estructuras de montaje de paneles solares en cubierta.
Figura 22. Distancia mínima entre un obstáculo circundante y un sistema de energía solar fotovoltaica.
Figura 23. Generación de sombras parciales sobre un sistema FV.
Figura 24. Horas solares pico en un día soleado.
Figura 25. Perfil de irradiancia de Santiago de Cali.
Figura 26. Horas solares pico Santiago de Cali.
Figura 27. Dimensiones y aspecto físico de un panel solar fotovoltaico media celda.
Figura 28. Estimación de generación de energía solar promedio diaria para Santiago de Cali.
Figura 29. Comportamiento de panel solar fotovoltaico ante variaciones de radiación y temperatura.
Figura 30. Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico de conexión a red.
Figura 31. Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico de conexión a red y almacenamiento.
Figura 32. Diagrama mecanismos de financiación.
Figura 33. Proyección de retorno de inversión de un sistema solar FV usando recursos propios y leasing.
Figura 34. Proyección de retorno de flujo de caja de un modelo de venta de energía.

VERSIÓN BORRADOR

A.

Contexto

El uso de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) en Colombia ha tenido un crecimiento muy importante en los últimos años, debido a un marco regulatorio sólido y en constante crecimiento y evolución. Los recursos naturales como sol y viento para generación de energía son muy importantes a lo largo y ancho de nuestro territorio, sin embargo, algunas zonas tienen mayor potencial de un recurso u otro debido a condiciones mayormente geográficas. El caso de Santiago de Cali en su zona urbana no es la excepción, por tratarse de una ciudad ubicada en las faldas de una gran cordillera, presenta un comportamiento particular tanto para el viento como para el sol.

Diferentes estudios académicos han dado como resultado que en la zona urbana de Santiago de Cali se cuenta con un recurso solar alto, para la utilización de tecnologías como solar fotovoltaica o solar térmica.

Sin embargo, el recurso eólico en la zona urbana no resulta ser muy alto, debido a que se concentra en unas franjas muy específicas del día, con lo cual se puede tener unas velocidades de viento importantes, pero durante muy pocos momentos del día.

VERSIÓN BORRADOR

B.

Marco regulatorio

VERSIÓN BORRADOR

Marco regulatorio e incentivos para proyectos de FNCE y EE en Colombia

Durante los últimos años, en Colombia se han dado pasos importantes en materia de políticas públicas orientadas al desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la mejora de la seguridad del abastecimiento energético.

En este marco, cabe mencionar la Ley 697 de 2001, la Ley 1715 de 2014, la Ley 1955 de 2019 (Plan Nacional de Desarrollo), el Plan de Acción Indicativo PROURE 2017 — 2022, la Norma Técnica de Calidad en la Gestión Pública y los Reglamentos Técnicos de Instalaciones Eléctricas (RETIE), Iluminación y Alumbrado público (RETILAP) y de Etiquetado (RETIQ).

A continuación, en los siguientes puntos, se muestra con más detalle cada una de estas iniciativas.

1. Ley 697 de 2001

En el año 2001 se promulgó la Ley 697, por medio de la cual el Ministerio de Minas y Energía de Colombia declara el Uso Racional y Eficiente de Energía (URE) y demás formas de energía no convencionales, norma que fue reglamentada parcialmente por el Decreto 2225 de 2010 y por el Decreto 3683 de 2003.

Con esta Ley se pretende poner el foco en mejorar la eficiencia energética, de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales, a fin de asegurar:

- El abastecimiento energético pleno y oportuno.
- La competitividad de la economía.
- La protección del consumidor.
- La promoción de fuentes de energía no convencionales.

El Plan de Acción correspondiente, permitió el lanzamiento de campañas como "Ahorrar paga" o "Guardianes del ahorro". Estas campañas buscaban obtener ahorros – de al menos un 5% – en el consumo eléctrico base utilizado en Colombia.

En el marco de la Ley 697, se generaron diferentes estímulos al Uso Racional y Eficiente de Energía (URE), como es el caso de:

- Los programas de investigación en URE, creados por el Gobierno Nacional a través de Colciencias.
- Los préstamos de ICETEX para estudiantes de carreras o postgrados específicos en el campo del URE.
- Las distinciones del Gobierno Nacional a empresas destacadas a nivel nacional en el área de aplicaciones del programa URE.

También existen incentivos a empresas importadoras o productoras de productos o tecnologías que beneficien al uso de energías renovables no convencionales (calentadores, paneles solares, generadores de biogás, aerogeneradores).

En cuanto a la divulgación de los principales conceptos relacionados con el URE, las empresas de servicios públicos que presten servicios de energía eléctrica y gas deben imprimir en la carátula de sus recibos de factura o cobro, mensajes con relación al Uso Racional y Eficiente de Energía y sus beneficios medio ambientales.

2. Ley 1715 de 2014

La Ley 1715 fue promulgada en el año 2014 y por medio de ella se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

La finalidad de esta Ley es establecer el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política energética nacional.

Igualmente, tiene por objeto establecer líneas de acción para el cumplimento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Entre otros aspectos, cabe destacar un conjunto de beneficios tributarios y financieros. Algunos de ellos deben ser solicitados por parte de la entidad, cumpliendo con los requisitos y la documentación requerida para cada uno ante los organismos correspondientes, como son:

- **Deducción de impuestos sobre la renta:** se reduce anualmente el impuesto a la renta durante los 5 años consecutivos desde el momento que se realice la inversión, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y uso de energías renovables no convencionales y la gestión de sistemas energéticos eficientes.

VERSIÓN BORRADOR

- **Exclusión de IVA,** a equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que tengan como fin la pre-inversión e inversión de la producción y uso de energía a partir de las fuentes no convencionales.

- **Exención de aranceles.**

- **Depreciación acelerada del activo.** La tasa de depreciación anual será de hasta un 20% con tasa global anual, aplicable a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para la pre-inversión, inversión y operación de generación de fuentes no convencionales de energía.

Es importante resaltar que esta Ley también establece la exclusión automática del IVA para los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales e importados que tengan como fin la pre-inversión e inversión de la producción y uso de energía a partir de fuentes renovables no convencionales de energía.

Esta ley establece además en el Artículo 32, que las entidades públicas deben adoptar Planes de Gestión Eficiente de la Energía (PGEE), los cuales deben incluir acciones de eficiencia energética y mecanismos de respuesta de la demanda.

Actualmente la Ley 1715, ha sido modificada por normas como el Plan Nacional de Desarrollo y demás disposiciones normativas tal como se verá a continuación.

3. Resolución 0549 de 2015

Por medio de la Resolución 0549 de 2015 se establecen los objetivos mínimos en porcentaje de ahorro de agua y energía en nuevas edificaciones. De la misma forma el objetivo es adoptar el Manual de Construcción Sostenible, el cual es una guía que debe ser aplicada en los municipios del país. Mediante la aplicación de la guía se establecen medidas activas y pasivas en energía y agua.

La Resolución permite definir a las medidas activas como el uso de sistemas mecánicos y/o eléctricos con el fin de crear condiciones de confort al interior de edificaciones.

De otra parte, también se definen las medidas pasivas como aquellas que se encuentran inmersas dentro del diseño arquitectónico y a su vez no involucran sistemas mecánicos o eléctricos.

4. PAI PROURE 2017 - 2022

El Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE) se está desarrollando por medio de un Plan de Acción Indicativo (PAI) adoptado por Resolución 41286 del Ministerio de Minas y Energía el 30 de diciembre de 2016.

El plan estará vigente desde año 2017 al 2022 y tiene como meta un ahorro global del 9,05% a su finalización. Para lograr el cumplimiento de la meta global se proponen metas de ahorro para los diferentes sectores económicos (tabla 1).

SECTOR	METAS DE AHORRO (%)
Transporte	5,49
Industria	1,71
Terciario	1,13
Residencial	0,73

Tabla 1. *Metas de ahorro PROURE 2017-2022 por sectores económicos.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Las estrategias por seguir incluyen:

- Definición de metas indicativas de eficiencia energética costo-efectivas.
- Construcción de condiciones económicas, técnicas, regulatorias y de información, que permitan impulsar un mercado de bienes y servicios energéticos eficientes en Colombia.
- Fortalecimiento de las instituciones e impulso al desarrollo de proyectos a partir de la iniciativa privada, mixta o de capital social.
- Fomento de incentivos, incluidos los tributarios.
- Consolidación cultural del manejo eficiente de los recursos energéticos.
- Alineación con los compromisos internacionales adquiridos por el país.

VERSIÓN BORRADOR

Algunas acciones consideradas en el PROURE (tabla 2):

SECTOR	ACCIONES
Transporte	• GNV en transporte público de pasajeros. • Uso de electricidad en las flotas sector oficial y transporte público. • Estándares de eficiencia energética en el sector y etiquetado para vehículos. • Impulsar la diversificación de la canasta energética del sector.
Industria	• Medidas de eficiencia energética en energía eléctrica. • Medidas de eficiencia energética en combustibles sólidos para calor directo e indirecto. • Medidas de eficiencia energética en gas natural para calor directo e indirecto. • Diseño e implementación de Sistemas de Gestión de la Energía.
Terciario	• Mejora en el diseño, la construcción y la adecuación arquitectónica de edificaciones. • Evaluación e Implementación de distritos térmicos. • Implementación de sistemas de medición inteligente. • Mejoramiento de la eficiencia energética en entidades públicas. • Adopción de reglamento de instalaciones térmicas. • Implementación de Sistemas de Gestión de la Energía.
Residencial	• Medidas de eficiencia energética en energía eléctrica. • Mejoramiento de eficiencia energética en edificaciones. • Sustitución de duchas eléctricas por Sistemas Solares Térmicos. • Implementación de Sistemas Solares Fotovoltaicos. • Reducción de consumo por Stand-by. • Implementación de estufas mejoradas de leña y uso de GLP.

Tabla 2. *Acciones sectoriales PROURE 2017-2022.*
Fuente: *PROURE, 2017-2022.*

VERSIÓN BORRADOR

5. Resolución CREG 030 DE 2018

Con la Resolución 030 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), se regulan las actividades de Autogeneración a Pequeña Escala (AGPE) y Generación Distribuida (GD) en el Sistema de Interconexión Nacional (SIN).

Esta Resolución tiene como objetivo definir mecanismos fáciles y sencillos para que los pequeños productos de energía eléctrica puedan vender sus excedentes al sistema.

Es importante resaltar que para que una edificación sea catalogada como sostenible, se debe privilegiar el autoconsumo de la mayor parte de la energía generada en sitio y que amparados en la CREG 030, se pueda aprovechar la energía que una vez generada, no se puede consumir por la edificación, ya sea por sus condiciones particulares de uso del espacio o por condiciones excepcionales como vacaciones, paradas de actividades, etc.

El proceso de conexión que se establece en la Resolución 030 es el siguiente:

1. **Revisar disponibilidad de la red:** las empresas (operadores de red) en su portal web, deben publicar la disponibilidad de sus redes para realizar la conexión.

2. **Diligenciar el formulario simplificado:** en el portal web del prestador del servicio encontrará un formato en línea para que haga la solicitud de autorización de conexión, ingresando información básica sobre su instalación.

3. **Revisar el estado de su solicitud:** a través de la página web del prestador del servicio, usted podrá adelantar todo el trámite y verificar el estado de su solicitud en cualquier momento.

4. **Instalar su sistema de autogeneración:** una vez aprobada la conexión usted cuenta con seis meses para realizar la instalación de su sistema de autogeneración. Si deja pasar este tiempo, deberá realizar nuevamente el trámite.

5. **Revisar la instalación:** cuando termine de instalar sus equipos, el operador de red revisará y podrá efectuar algunas pruebas a los equipos para verificar su correcta operación y procederá a conectarlo a la red.

6. **Autogenerar energía eléctrica:** cuando todo esté en orden, el operador de red lo conectará y usted podrá iniciar la autoproducción de energía e incluso, si le sobra, venderla.

Debido a que los tiempos de construcción de un sistema de AGPE con FNCER pueden variar en función de su capacidad, es posible que los trámites referentes a la Resolución CREG 030 inicien en paralelo con el proceso de diseño de los sistemas, con el fin de que, al finalizar la construcción, el OR pueda verificar y autorizar la conexión del sistema.

6. Decreto 2106 de 2019

Esta disposición proferida el 22 de noviembre de 2019 y denominada "Decreto anti trámites", tiene como finalidad simplificar, suprimir y reformar trámites, procesos y procedimientos innecesarios existentes en la administración pública, es por ello que el artículo 130 modifica el artículo 12 de la Ley 1755 de 2014, indicando que para fomentar el uso de la energía procedente de FNCE, los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre inversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos de IVA, que para ello la UPME certificará los equipos y servicios excluidos de este gravamen.

Nota: Con las modificaciones realizadas en el Plan Nacional de Desarrollo y en el Decreto anti-trámites, se suprime o elimina el procedimiento a realizarse ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), la cual expedía el certificado ambiental que materializaba la obtención de beneficios tributarios, esto quiere decir que la solicitud de incentivos tributarios se deberá efectuar sólo ante la UPME.

Recientemente el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, divulgó para observaciones el proyecto de decreto que reglamenta los artículos 11, 12, 13 y 14

VERSIÓN BORRADOR

de la Ley 1715 de 2014, se modifica y adiciona el Decreto 1625 de 2016, Único Reglamentario en Materia Tributaria y se modifica el Decreto 1073 de 2015, Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, por tanto es importante actualizarse en las diferentes dependencias públicas para conocer los avances en la implementación de FNCER Y GEE en el país.

7. Ley 1955 de 2019

A través de la Ley 1955 del 25 de mayo de 2019, se expidió el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018-2022. "Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad", esta disposición modificó el artículo 11 de la Ley 1715 de 2014 respecto a los incentivos de renta e IVA, esto con el fin de impulsar las energías renovables en el país.

El apartado normativo preveé lo siguiente:

- **Incentivo de renta:** los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en FNCER y GEE, tendrán derecho a deducir de su renta, en un período no mayor de 15 años, contados a partir del año gravable siguiente en el que haya entrado en operación la inversión, el 50% del total de la inversión realizada.

- **Certificación del beneficio tributario:** será otorgada por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), esta entidad realiza una evaluación y cobrará una tarifa, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 20 de la presente Ley.

- **Exclusión de IVA:** se excluyen de manera inmediata con la expedición de esta Ley los inversores de corriente, los paneles solares y los controladores de carga para sistemas de energía solar fotovoltaica, esto quiere decir que con respecto a estos elementos no se requiere certificación por parte de la UPME, para la obtención de beneficios tributarios.

Marco regulatorio de Cali para el registro de proyectos de FNCER ante el OR

Para dar cumplimiento a lo establecido en el Resolución 030 de la CREG, todos los Operadores de Red (OR) deberán publicar en su página de internet el procedimiento para registrar cualquier proyecto de generación de energía de AGPE o GD, convencional o no convencional, que requiera conectarse a su red eléctrica.

Lo anterior busca generar un mecanismo de control y mapeo sobre todos los sistemas de generación de energía (AGPE o GD) que se construyan en el país y garantizar que la interacción de estos con la red eléctrica convencional sea correcta.

En el marco de las edificaciones, aplican los proyectos clasificados como AGPE, ya que son los que están concebidos para que una persona natural o jurídica genere energía para atender mayormente sus consumos. Igualmente, los AGPE pueden exportar los excedentes de energía a la red convencional y ser remunerados en su factura de energía, vía créditos de energía.

En la página de internet del operador de red EMCALI, en la sección de energía, se encuentra la información relacionada al proceso de registro de proyectos de AGPE.

Link: https://www.emcali.com.co/web/energia/autogeneracion

VERSIÓN BORRADOR

4.1.

Estrategias de eficiencia energética y ahorro de energía para edificaciones

VERSIÓN BORRADOR

Para lograr establecer e implementar estrategias de eficiencia energética y ahorro de energía en edificaciones es necesario generar indicadores que permitan tomar decisiones respecto al uso y eventual generación de la energía en sitio. En el siguiente capítulo se presentarán cuáles son las diferentes estrategias que se plantean desde la Resolución 0549 de 2015 y como se pueden implementar o proyectar de manera ajustada a la ciudad de Santiago de Cali.

VERSIÓN BORRADOR

Líneas base de consumo

De acuerdo con la metodología establecida, la Resolución 0549 de 2015 define la línea base de consumo de energía según el tipo de edificio y zona climática (tabla 3).

kWh/m² - Año	FRÍO	TEMPLADO	CÁLIDO SECO	CÁLIDO HÚMEDO
Hoteles	96,1	151,3	132,5	217,8
Hospitales	249,6	108,3	344,1	344,1
Oficinas	81,2	132,3	318,2	221,3
Centro comerciales	403,8	187,8	187,8	231,5
Educativos	40	44	72	29,8
Vivienda no VIS	46,5	48,3	36,9	50,2
Vivienda VIS	44,6	44	34,6	49,3
Vivienda VIP	48,1	53,3	44,9	50,6

Tabla 3. *Líneas base de consumo por zona climática establecidas en las Resolución 0549.*

Fuente: *Resolución 0549 de 2015.*

Según lo establecido en la Resolución 0549 de 2015, el Municipio de Santiago de Cali corresponde al clima cálido seco (tabla 4).

TIPO DE CLIMA	TEMPERATURA (°C)	ALTITUD (msnm)	CIUDAD REPRESENTATIVA	
Frío	12 – 18	2000m – 2999m	Bogotá (2625m)	
Templado	18 – 24	1000m – 1999m	Medellín (1495m)	
Cálido seco	> 24; HR < 75%	< 1000m	Cali (997m)	
Cálido húmedo	> 24; HR < 75%		Barranquilla (18m)	

Tabla 4. *Definición de zonas climáticas establecidas en la Resolución 0549.*
Fuente: *Resolución 0549 de 2015.*

VERSIÓN BORRADOR

Uso eficiente de la energía

La aplicación de la norma ISO 50001 permite la conformidad con el sistema de gestión de energía de forma sostenible, demostrando el cumplimiento del objetivo de la línea base de consumo de energía, su respectiva evaluación y mejora continua.

La norma ISO 50001 plantea cuatro acciones de forma cíclica, asegurando el mejoramiento continuo de eficiencia energética.

Ciertamente la **primera acción** se encuentra enfocada a la definición y planteamiento estratégico, y en el cual se evalúan diversos proyectos técnica y financieramente, que aporten al mejoramiento continuo y tengan impactos significativos en el ahorro y sostenibilidad energética. La **segunda acción** plantea la implementación de cada una de las medidas definidas en la planeación estratégica. Dichas acciones deben adoptar las medidas definidas en la Resolución 0549 de 2015 y las estipuladas en el presente documento como complementarias. La **tercera acción** se enfoca en el constante conocimiento y análisis de los datos de energía. Por ende, se define la medición y el monitoreo, el cual preferiblemente debe ser en tiempo real. Finalmente, la **cuarta acción** se enfoca en realizar el análisis constante del cumplimiento de todos los objetivos.

La figura 1 presentada a continuación detalla el ciclo general estipulado en la norma ISO 50001.

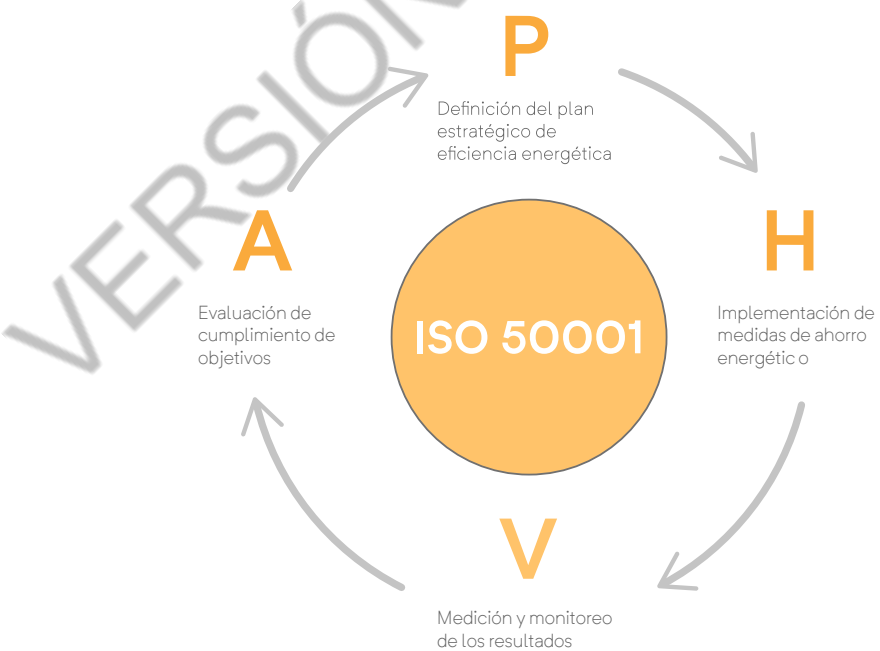


Figura 1. *Ciclo general estipulado en la norma ISO 50001.*

Fuente: *Norma ISO 50001.*

VERSIÓN BORRADOR

Las tendencias actuales en edificaciones en cuanto a buscar lograr sistemas de gestión de energía que sean sostenibles se enfocan en tener datos claros en cuanto a los consumos, los cuales permitan establecer metas de ahorro y eficiencia, las cuales se puedan convertir en herramientas de comunicación para generar conciencia respecto al uso responsable y eficiente de la energía.

La implementación de las etapas descritas en la ISO 50001 permite abordar de manera más fácil la implementación de un plan de Gestión Integral de Energía (GIE), teniendo las siguientes etapas principales:

Planificación del SGE

REVISIÓN ENERGÉTICA

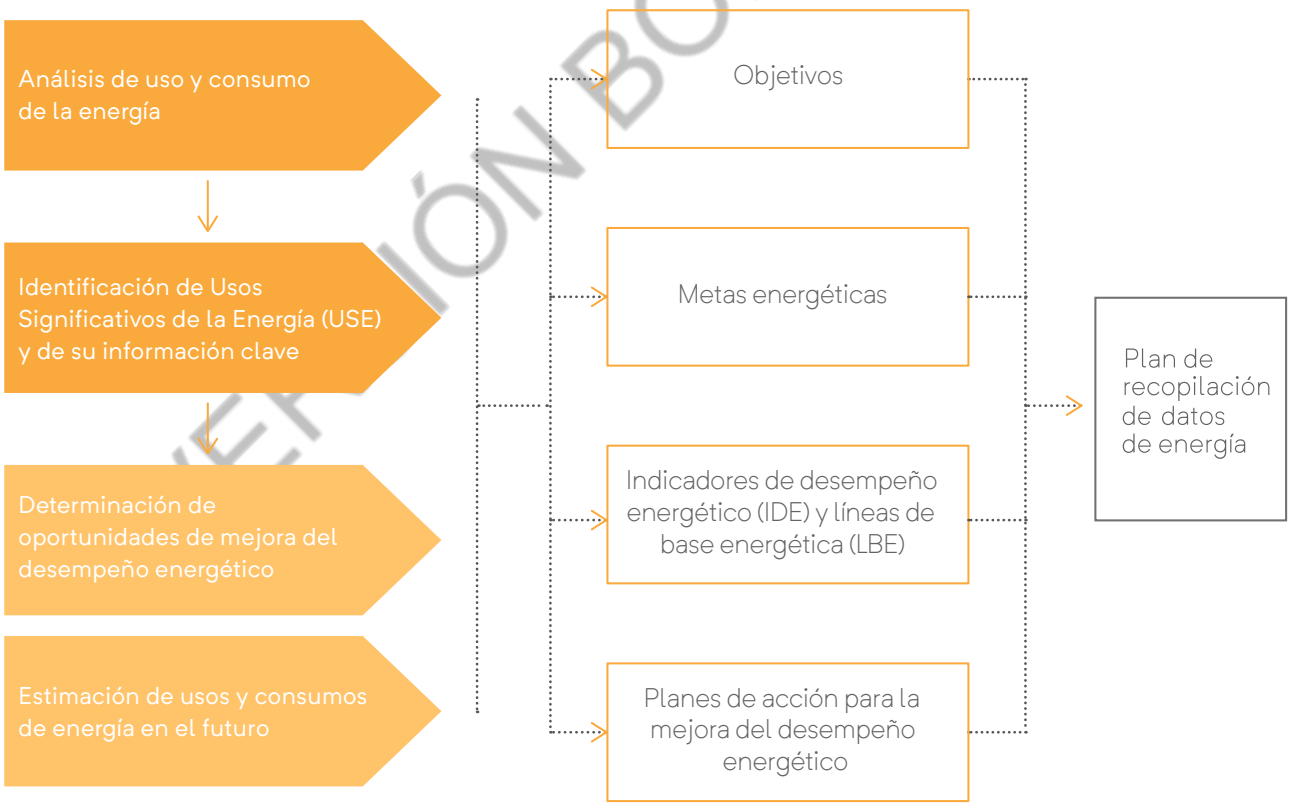


Figura 2. *Plan de Gestión Integral de Energía (GIE).*
Fuente: *Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética RECIEE.*

VERSIÓN BORRADOR

EE1. Medición y Monitoreo

EE.1.1 Medición calibrada en cuatro cuadrantes y/o por sectores y centros de consumo

Estrategia de medición calibrada en cuatro cuadrantes (bidireccional)

La medición de energía calibrada en cuatro cuadrantes significa que los medidores tengan la capacidad de medir la energía que pasa por ellos en los dos sentidos, desde la red convencional hacia los lugares de consumo y desde los lugares de consumo hacia la red.

En estos casos, los lugares de consumo estarían actuando como generadores de energía también, con un sistema de energía solar fotovoltaica, por ejemplo, bajo este nuevo modelo de consumo/generación de energía en la edificaciones el esquema resulta ser como se presenta en la figura 3.

Los flujos de energía entre la red y los lugares de consumo de energía ahora pueden ser en los dos sentidos, debido a que si los sistemas de generación de energía (edificaciones) generan energía que no se consume inmediatamente, esta

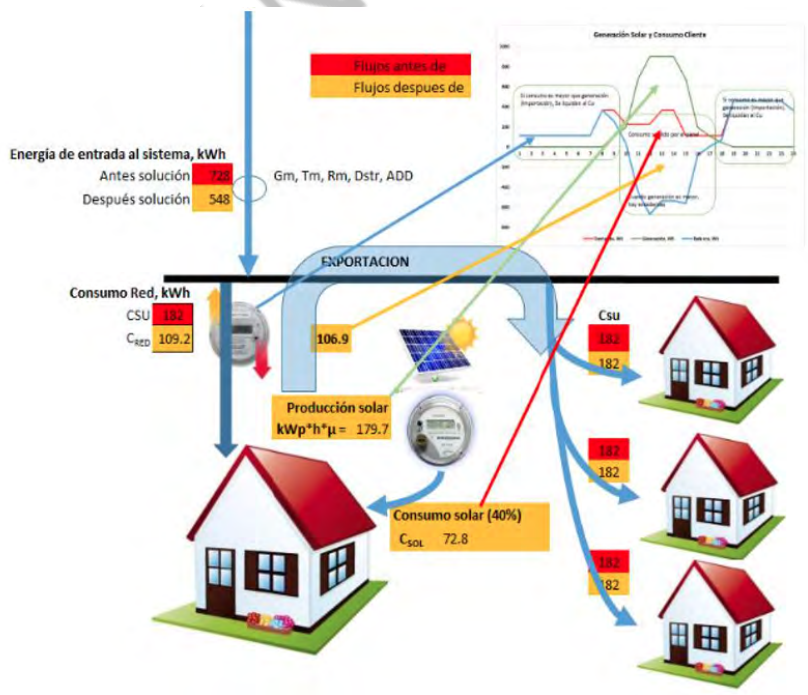


Figura 3. *Estrategia de medición de energía bidireccional.*
Fuente: *EMCALI.*

VERSIÓN BORRADOR

es enviada hacia la red externa para ser utilizada en otros lugares donde se requiera. Esa energía exportada hacia la red externa será remunerada en el recibo de energía que corresponda al contador por el cual se efectúe el flujo de energía en doble sentido. El valor del kWh exportado a la red será remunerado de acuerdo a lo establecido en la Resolución 030 de la CREG, teniendo en cuenta que en algunos casos el valor del kWh exportado será menor al del kWh comprado de red. En la tabla 5 se presenta un recibo de energía que genera excedentes de energía que son remunerados por el comercializador.

CONCEPTOS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	CONTRIBUCIÓN	TOTAL A PAGAR
Consumo De Energía Reactiva					
Energía Reactiva Inductiva	630.000	166.01	105.584.10		105.584.10
Consumo De Energía Activa	2.940.00	536.73	1.577.974.44		1.577.974.44
(–) Valor Consumo Energía	54.00	-533.74	28.822.00		28.822.00
(–) Valor Exportación 1	1.967.40	-536.73	1.055.955.00		1.055.955.00
Valor Exportación 1 Cm	1.967.40	45.86	90.228.00		90.228.00
(–) Ajuste Al Peso					
TOTAL					$688.009.43

Tabla 5. *Factura de energía con excedentes de energía solar remunerados.*
Fuente: *ENECO SAS.*

El proyecto de Resolución 131 del 25 de junio del 2020, de la Comisión de Regulación de Energía y Gas, por sus siglas CREG, y "Por el cual se establecen las condiciones para la implementación de la infraestructura de medición avanzada en el SIN", este proyecto presenta los siguientes objetivos:

- Facilitar esquemas de eficiencia energética, respuesta de la demanda, y modelos de tarificación horaria y/o canastas de tarifas.
- Permitir la incorporación en los sistemas eléctricos, entre otras, de tecnologías de autogeneración, almacenamiento, generación distribuida y vehículos eléctricos.
- Mejorar la calidad del servicio a través del monitoreo y control de los sistemas de distribución.
- Dinamizar la competencia en la comercialización minorista de energía eléctrica y generar nuevos modelos de negocio y servicios.
- Gestionar la reducción de las pérdidas técnicas y no técnicas.
- Promover la eficiencia en los costos de prestación del servicio de energía eléctrica y facilitar que se alcancen niveles de pérdidas eficientes.

VERSIÓN BORRADOR

Estrategias de medición por sectores y centros de consumo

La medición de energía por sectores o usos permite obtener indicadores diferenciados del consumo de energía eléctrica y así poder tomar decisiones respecto a estrategias de ahorro sectorizado. La medición sectorizada en una edificación permite analizar y desarrollar estrategias de ahorro de energía en aquellos sectores o centros de consumo en los cuales se han detectado la mayor demanda energética.

La submedición de energía es aquella que no se utiliza por el comercializador para desarrollar la facturación al usuario. Esta se utiliza para conocer en donde y cuando se consume energía en determinado sector de la edificación. Los costos energéticos son posibles determinarlos por medio del desarrollo o la implantación de submedida.

Por ejemplo, en una industria con varias líneas de producción es importante asignar correctamente los costos de energía por cada línea, con esto se podrá conocer con exactitud los costos asociados del producto. De la misma forma, para edificaciones para el uso de oficinas, la submedición permite establecer cuál área consume mayor cantidad de energía por persona, el área de marketing o finanzas por ejemplo.

Tecnológicamente, la estrategia de submedición también puede estar acompañada de plataformas que permiten conectar múltiples medidores de energía que se encuentren dispuestos dentro de la edificación y permiten el procesamiento de información.

VERSIÓN BORRADOR

EE.1.2 Monitoreo remoto en tiempo real – Evaluación de matriz horaria

Estrategia de monitoreo remoto de consumo en tiempo real

La medición constante del consumo de energía eléctrica permite generar datos importantes que puedan ser transformados en información respecto a la manera como se consume la energía durante las 24 horas del día y que tendencias de consumo pueden ser reafirmadas o modificadas. En la figura 4 se muestra la tendencia de consumo horaria promedio de una edificación. El consumo promedio de la factura es de 6500 kWh/mes, sin embargo, la medición horaria permite validar que los domingos y sábados existe una disminución del consumo. Esta tendencia resulta ser de vital importancia al momento de proyectar un sistema de generación de energía en sitio, ya que en esos días seguramente se generen excedentes de energía que tengan que ser intercambiados con la red eléctrica convencional en el marco del Decreto 030 de la CREG. Estas mediciones se pueden hacer de manera constante en las instalaciones eléctricas o de manera puntual utilizando equipos que se conectan a las instalaciones eléctricas durante un periodo de tiempo determinado y después se retiran.

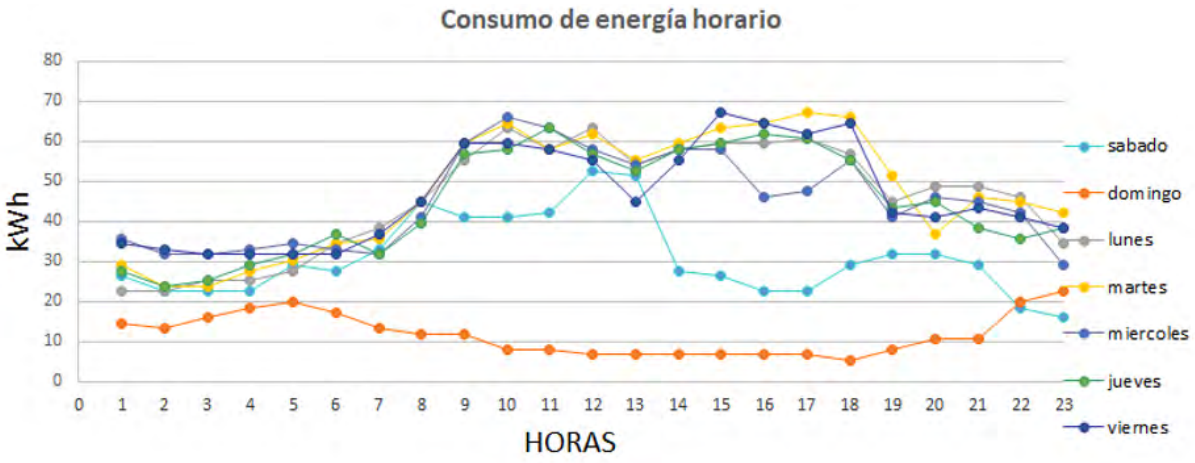


Figura 4. *Perfil de consumo horario discriminado por días.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Las mediciones de energía horarias se pueden obtener de diferentes maneras y utilizando diferentes tecnologías. Sin embargo, en la actualidad los sistemas de energía solar FV de autoconsumo cuentan con equipos que permiten medir y visualizar la generación del sistema de generación de energía y adicionalmente el consumo de energía.

Lo anterior permitiría tener indicadores constantes de comparación entre el consumo y la generación y así poder tomar decisiones que permitan alcanzar los objetivos y metas de ahorro de manera constante en el tiempo y durante toda la vida útil de los sistemas de generación. La siguiente figura presenta una configuración con sistema solar FV y equipo de medición para visualizar generación y consumo de energía.

La Ley 1715 de mayo de 2014 define que "Autogeneración es aquella actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica principalmente, para atender sus propias necesidades. En el evento en que se generen excedentes de energía eléctrica a partir de tal actividad, estos podrán entregarse a la red, en los términos que establezca la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para tal fin.".

De la misma forma, la UPME ha establecido a través de la resolución 281 de 2015, que un Auto Generador a Pequeña Escala es aquel cuyo límite de potencia máxima es igual a 1MW.

El reconocimiento de los excedentes de energía se encuentra reglamentado mediante el Decreto 348 de 2017, el cual expresa los excedentes que se entreguen a la red de distribución se reconocerán mediante un esquema de medición bidireccional, como créditos de energía.

VERSIÓN BORR

Autogeneración de energía de un sistema solar - Demanda del consumidor

Tecnológicamente, en los proyectos de FNCER se pueden determinar los excedentes de energía, mediante el análisis y medición de la energía producida y la demanda energética del consumidor final. La figura 5 presentada a continuación permite observar que toda la generación de energía de un sistema solar se encuentra por debajo del perfil de la demanda del consumidor.

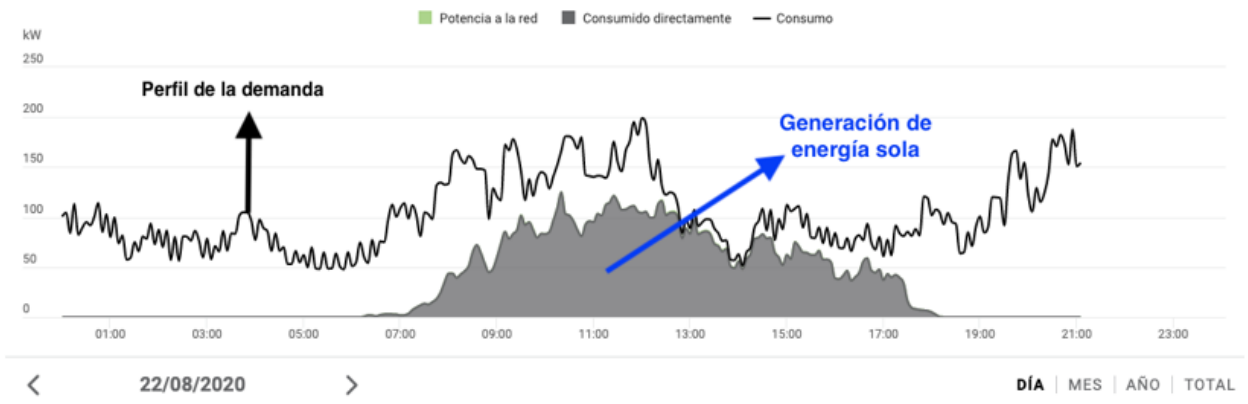


Figura 5. *Perfil de consumo horario y perfil de generación fotovoltaica sin excedentes.*
Fuente: *ENECO SAS.*

De la misma forma, en la figura 6 presentada a continuación, se puede establecer que el consumidor final presenta excedentes de energía, los cuales según lo establecido en el Decreto 348 de 2017, pueden ser reconocidos como créditos de energía. Para este fin, se debe garantizar en cualquier tipo de proyecto de autogeneración a pequeña escala, el mecanismo de medición del consumidor y del generador de FNCER.

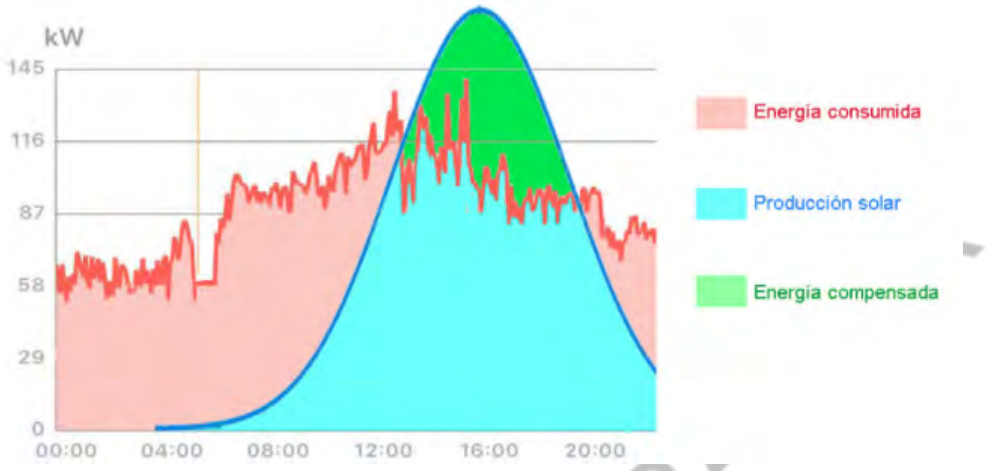


Figura 6. *Perfil de consumo horario y perfil de generación fotovoltaica con excedentes.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

EE2. Equipos Eficientes

EE.2.1. Equipos con etiqueta y calificación a de eficiencia energética

Estrategias de uso de equipos con etiqueta y calificación A de eficiencia energética

La Etiqueta Energética es un rótulo de color amarillo que contiene información sobre el consumo de energía de un aparato: nevera, lavadora, aire acondicionado, motores industriales, entre otros.

Su objetivo es proporcionar información al comprador que le permita compararlo con otros equipos similares en términos de consumo y desempeño. En la figura 7 se presenta como se vé una etiqueta de este tipo.

El Reglamento Técnico de Etiquetado (RETIQ) ha establecido unos rangos mínimos de eficiencia energética para los equipos que se comercialicen en el país, sin embargo, su desempeño dependerá del lugar de instalación, modo de uso y mantenimiento. La Etiqueta Energética es un instrumento de política pública gratuito, de fácil acceso y con información real que sirve para promover la eficiencia energética. Su objetivo es ayudar a los consumidores a conocer características de los equipos, las cuales les permitan reducir consumos en energía y ahorrar dinero. La Etiqueta Energética es obligatoria en Colombia desde agosto del 2016. En la figura 8 se relacionan los tipos de equipos que la deben tener y desde qué fecha empezaron a ser etiquetados.

VERSIÓN BORRADOR



Figura 7. *Etiqueta de eficiencia energética.*
Fuente: *Etiquetado Energético Colombia.*



Figura 8. *Equipos que portan etiqueta y fecha de inicio para su implementación.*
Fuente: *Etiquetado Energético Colombia.*

EE3. Automatización y control

EE.3.1 Controles de ocupación y/o iluminación exterior

Estrategia de control de ocupación de espacios

El consumo de energía debe estar ligado a la forma en la cual se controlan las diferentes cargas energéticas, tales como los sistemas de iluminación, ventilación o climatización, y generando confort al usuario. Actualmente, los sistemas de control o sistemas de gestión energética de edificios, también denominados por sus siglas en inglés como BEMS (Building Energy Management System), permite realizar el monitoreo constante y tiempos real de los consumos de energía, y también proporciona un medio de control automático a los diferentes elementos con el fin de activarlos o desactivarlos, asegurando un correcto confort y optimizando el uso de energía y garantizando la administración correcta de espacios.

La implementación de de sistemas de control consta de elementos básicos y principales los cuales se describen a continuación (figura 9):

- **Sensores:** permiten recibir señales con una periodicidad de tiempo de temperatura ambiente, velocidad de aire, CO^2, factor lumínico, etc.
- **Controladores:** dispositivos electrónicos que reciben las señales de los sensores y permiten su procesamiento.
- **Supervisores:** son interfaces gráficas en donde el usuario puede detallar o modificar el comportamiento del sistema.
- **Redes:** permiten la comunicación entre cada uno de los dispositivos electrónicos.

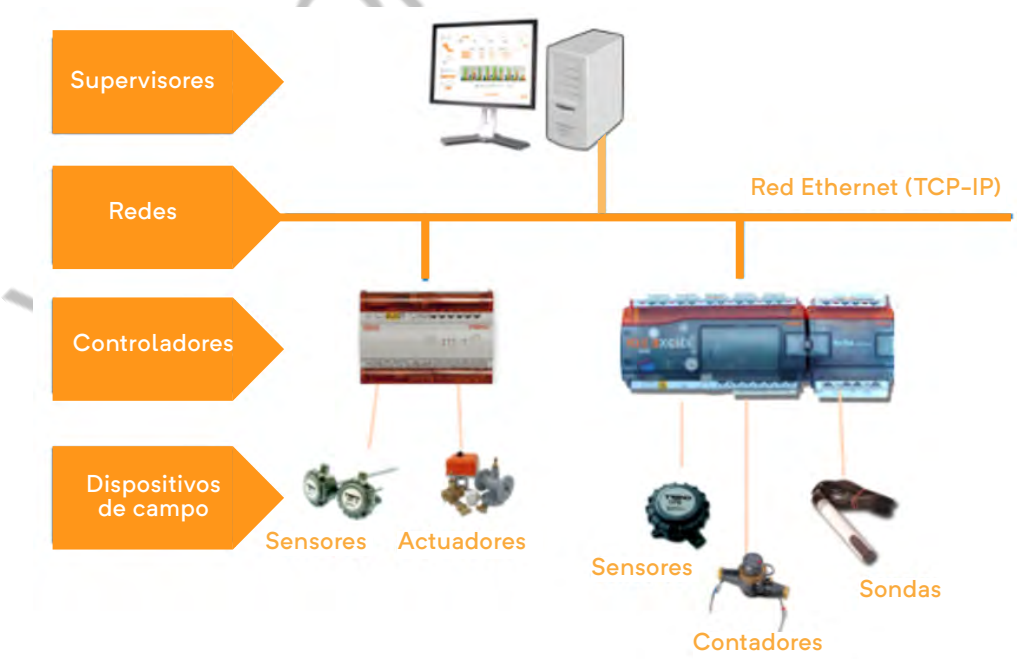


Figura 9. *Esquema de sistema de control de ocupación de espacios.*
Fuente: *Trend Control*

BORRADOR

Estrategia de control de iluminación exterior

Controlar la iluminación implica regular el nivel y la calidad de luz en un espacio en donde se desarrollará una actividad o en donde puede ocurrir un evento. Controlar los sistemas de iluminación tiene como consecuencia ahorrar de forma considerable energía eléctrica, incluyendo ciertas ventajas al usuario, las cuales se describen a continuación.

- Se pueden realizar ajustes de iluminación.
- Se ajusta la iluminación de acuerdo a los aportes de la iluminación diurna.
- El control de la iluminación puede ser de forma inalámbrica.
- Genera valor a los proyectos constructivos.
- Fácil instalación para el constructor.
- Garantiza la cantidad de luz requerida en el momento preciso y en el espacio requerido.
- Cumplimiento de normativa RETILAP.

Dependiendo del fabricante, el control de la iluminación puede ser por medio de diferentes modos de funcionamiento y tecnologías.

- **Modo automático:** las cargas lumínicas se administran de forma automática mediante el encendido y el apagado, y utilizando sensores de movimiento.
- **Modo semi automático:** el encendido de las cargas es manual y el apagado es automático dependiendo de sensores de movimiento o presencia.
- **Modo luz natural:** el encendido de la carga lumínica es automático y el nivel de regulación de iluminación deseado se regula y controla dependiendo del aporte de iluminación natural.
- **Modo programado:** el encendido de las cargas lumínicas dependen de la programación o perfil horario establecido, teniendo en cuenta el uso de la edificación.

Las tecnologías asociadas a los controles de iluminación infiere el uso de sensores de movimiento, entre los cuales se destacan los descritos en la tabla 6.

CIÓN BORRADOR

MATRIZ DE SENSORES DE MOVIMIENTO

	Tipo de Cobertura	Características de Aplicaciones Compatibles	Características de las Aplicaciones Incompatibles
PIR Pared	• Línea de vista	• Pequeños, espacios cerrados	• Bajo nivel de movimiento • Obstáculos bloqueando la vista del sensor
PIR Techo / Pared	• Línea de vista	• Espacios donde el sensor tiene visión directa	• Bajo nivel de movimiento • Obstáculos bloqueando la vista del sensor
Ultrasónico	• Volumétrico	• Espacios abiertos • Espacios con obstáculos	• Techos altos • Altos niveles de vibración o flujo de aire
Dual	• Cobertura completa	• Espacios con poco movimiento o movimiento variable por parte de los ocupantes	• Altos niveles de flujo de aire

Tabla 6. *Matriz de sensores de movimiento.*
Fuente: *Catálogo BTICINO Control de Iluminación.*

EE.3.2. Corrector del Factor de Potencia

Estrategia de corrección de factor de potencia

Se define como factor de potencia a la relación entre la potencia promedio de una carga y la potencia aparente. Dicha relación es posible ajustarla con el fin de lograr un valor muy próximo a la unidad, utilizando sistemas de conmutadores, en general automáticos, de bancos de condensadores. El uso de cargas tales como motores, las cuales se denominan cargas inductivas, pueden ocasionar un desbalance entre la potencia promedio y aparente, y su corrección puede desarrollarse por medio de la conexión de bancos de condensadores.

Un bajo factor de potencia implica un crecimiento de la corriente aparente y por ende un aumento en las pérdidas energéticas. De esta forma, el hecho de no controlar el factor de potencia genera altos costos energéticos. El desarrollo de mecanismos, tales como el uso de banco de condensadores, con el fin de corregir el factor de potencia, generan ciertas ventajas, las cuales se describen a continuación:

- Aumento en la capacidad del sistema.
- Tensión de mejor calidad.
- Transformadores, líneas y generadores con mayor disponibilidad de potencia.
- Incremento en la vida útil de las instalaciones.
- Menor costo de energía eléctrica al no pagar penalizaciones por mantener un bajo factor de potencia.

La conexión en paralelo de capacitancias permite compensar las inductividades, y para ello existen tres tipos de conexión.

1. **Conexión individual:** para cada carga o consumo se le asigna un banco de condensadores.
2. **Conexión por grupos**: cuando existen cargas similares en potencia y tiempo de uso o régimen de trabajo, se pueden compensar por medio de un único grupo de bancos de condensadores.
3. **Conexión central:** existe un único banco de condensadores, el cual permite la compensación automática y según sea el requerimiento para todas las cargas asociadas.

En la figura 10 presentada a continuación se pueden detallar las tres formas de conexión de sistemas de condensadores.

VERSIÓN BORRADOR

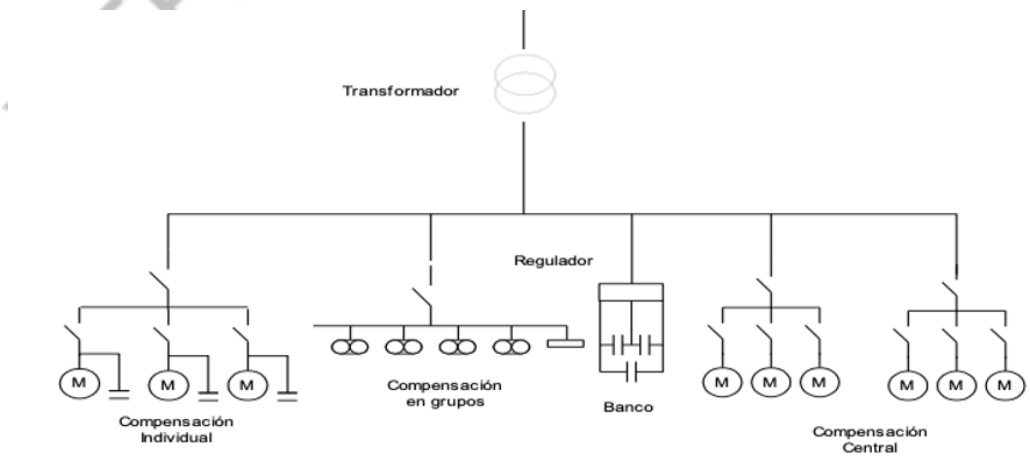


Figura 10. *Esquema de conexión individual, grupo o central de banco de condensadores.*
Fuente: *Corrector del Factor de Potencia y Control de la Demanda. Universidad del Atlántico y Universidad Autónoma de Occidente. Proyecto de la Unidad de Planeación Minero energética de Colombia UPME*

EE.3.3. Variadores de frecuencia

Estrategia de uso de variadores de frecuencia

Dentro de los centros de consumo se encuentra el uso de motores eléctricos, los cuales dependiendo de su tecnología y eficiencia son uno de los grandes elementos de consumo de energía eléctrica.

La velocidad con la cual trabaja un motor debería estar correlacionada directamente con lo que exige el uso o aplicación, y usando de esa forma solo la energía necesaria.

Para lograr dicho fin, los variadores de frecuencia permiten regular la velocidad de los motores eléctricos, con el propósito que la electricidad del motor se ajuste a la demanda de la aplicación, reduciendo el consumo energético entre un 20% a un 70%.

Un variador de frecuencia se dispone entre la alimentación y el motor. El variador regula dicha energía y ajusta la frecuencia y la tensión en función de los requisitos.

El uso de variadores de frecuencia permite gestionar de forma inteligente el uso de energía de los motores y sin duda con ciertas ventajas tales como ahorros económicos, operativos, genera durabilidad y larga vida útil, beneficios medio ambientales y mejora en la productividad.

VERSIÓN BORRADOR

EE4. CARGADORES V.E.

EE.4.1 Puntos de carga para vehiculos eléctricos

Estrategia de implementación de cargadores para vehículos eléctricos

La creciente confianza en el desarrollo de tecnologías de movilidad eléctrica y el gran aporte en el desarrollo sostenible y el impacto positivo frente al medio ambiente, permiten considerar dentro de las nuevas construcción la vinculación de puntos de carga de vehículos eléctricos.

De acuerdo a la Ley 1964 del 11 de Julio de 2019, por la cual se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia y tiene como fin contribuir a la movilidad sostenible y a la reducción de emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero, se establecen algunos beneficios nacionales como:

- Los impuestos no podrán superar el 1% del valor comercial del vehículo.
- Se dispone de un descuento sobre la revisión técnico – mecánico.
- Descuento en el 10% en SOAT.
- Parqueaderos preferenciales.

La presente estrategia recomienda la disposición de mínimo el 2% de plazas para carga de vehículos eléctricos frente al total de plazas establecido en el proyecto constructivo. Para esto, la construcción debe tener en cuenta las implicaciones eléctricas y de cargabilidad en todo el análisis eléctrico.

Los cargadores de vehículos eléctricos difieren unos de otros por la capacidad de corriente y esto implica la rapidez de carga. Normalmente tienen conexión trifásica de 4 polos. De igual forma existen diferencias por el tipo de conector, los cuales son presentados en la figura 11.



Figura 11. *Tipos de conectores en cargadores de vehículos eléctricos.*
Fuente: *Catálogo Movilidad Eléctrica. Equipos y sistemas inteligentes. Circutor.es*

VERSIÓN B

EE5. CALENTAMIENTO SOLAR

EE.5.1 Sistemas de calentamiento de agua solar

Estrategia de calentamiento de agua sanitaria por medio de sistemas solares.

Actualmente, existen tres tipos diferentes de captadores solares para calentamiento de agua, colectores solares de placa plana, colectores solares de tubos evacuados y colectores solares sin aislamiento. Los colectores de placa plana y de tubos evacuados (figura 12) son mayormente utilizados para el calentamiento de agua caliente sanitaria (ACS) que se puede utilizar en duchas o electrodomésticos como lavadoras o lavavajillas, debido a que las temperaturas que puede alcanzar el agua es entre 70° C y 100° C. Si se utilizan de manera conjunta (conexión de varios colectores en cascada) se pueden utilizar en procesos industriales o productivos.



Figura 12. *Calentadores solares de placa plana y de tubos evacuados.*
Fuente: *SOLAIRE/CHROMAGEN/TERMAL.*

Los colectores sin aislamiento (figura 13) son utilizados para calentamiento de piscinas, debido a su desempeño en diferentes condiciones climáticas y a la temperatura que alcanza el agua, cercana a los 30° C.

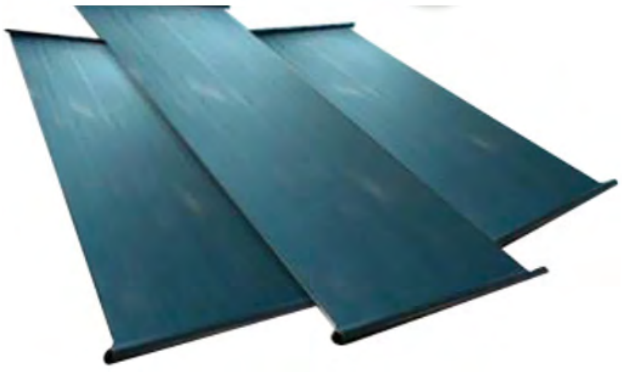


Figura 13. *Colectores solares sin aislamiento.*
Fuente: *SOLAIRE.*

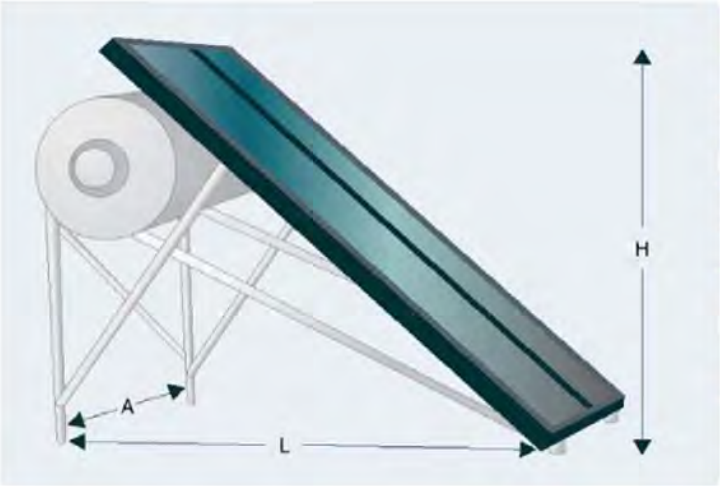
El calentamiento de agua solar para uso en edificaciones como Agua Caliente Sanitaria (ACS) tiene antecedentes muy interesantes en Colombia. Por ejemplo, a mediados de los años 80, el centro Las Gaviotas instaló 1250 calentadores solares de placa plana en una urbanización del Banco Central Hipotecario en Ciudad Salitre, en Bogotá.

El desarrollo de esta tecnología tuvo unos años de poca aplicación debido a la incursión del gas como energético domiciliario durante la década de los 90 e inicio del 2000, sin embargo, el desarrollo de tecnologías más eficientes y económicas ha permitido que el mercado del calentamiento solar de agua tenga un desarrollo importante en Colombia actualmente.

Las temperaturas que se pueden alcanzar con los colectores de placa plana pueden ser hasta de 70° C y cuando se configuran para tener el tanque de almacenamiento de agua integrado se pueden encontrar en configuraciones de 200 y 300 litros. Cuando se tiene un sistema de colector con tanque integrado se le denomina calentador solar.

En la figura 14 se presentan algunas características físicas y de peso de los calentadores solares de placa plana disponibles en el mercado local colombiano.

BORRADOR

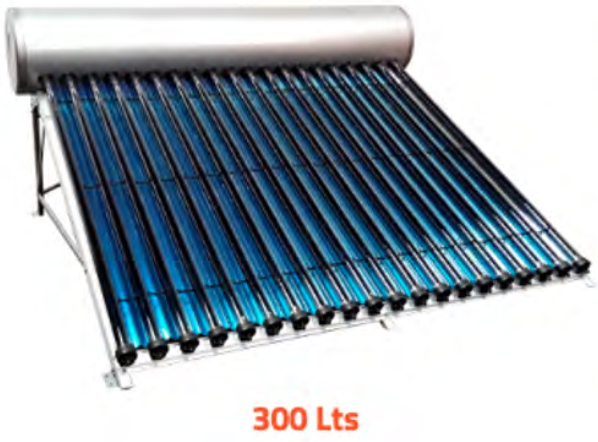


Características Chromagen Directo		Capacidad 200 Lts.	300 Lts.
Acumulación (litros)		200	300
Modelo captador		QR-E	QR-D
Superficie de Captación (m2)		2,18	3,74
Largo - L (cm)		190	151
Ancho - A (cm)		85	130
Alto - H (cm)		168	120
Peso (Kg)	Vacío	134	207
	Lleno	338	515
Estructura Soporte		30°	30°
		45°	45°

Figura 14. *Dimensiones colectores solares térmicos de placa plana.*
Fuente: *SOLAIRE-CHROMAGEN.*

Las temperaturas que se pueden alcanzar con los colectores de tubos evacuados pueden ser hasta de 100° C y cuando se configuran para tener el tanque de almacenamiento de agua integrado se pueden encontrar en configuraciones de 125, 200 y 300 litros.

En la figura 15 se presentan algunas características físicas y de peso de los colectores solares de tubos evacuados disponibles en el mercado local colombiano.



MODELO	Capacidad (litros)	Peso sin agua (Kg.)	Peso en Operación (Kg.)	Ancho (m)	Largo (m)
CST-125HP PVDF	125	65	190	1.30	1.98
CST-200HP PVDF	200	89	289	1.85	1.98
CST-300HP PVDF	300	115	415	2.40	1,98

Estos datos deben ser tomados en cuenta (medidas de peso, longitud de instalación) antes de iniciar el ensamble de su calentador. El calentador de presión puede localizarse al nivel del suelo, sin dejar a un lado las indicaciones en su ubicación



Figura 15. *Dimensiones calentadores solares térmicos de tubos evacuados.*
Fuente: *SOLAIRE-TERMAL.*

EE6. GENERACIÓN ELÉCTRICA PARA AUTOCONSUMO

EE.6.1. Cubiertas con soporte de carga estructural para soporte del sistema

Estrategia de construcción de cubiertas para soportar la carga portante de sistemas de energía solar

Las estructuras de montaje para paneles solares son uno de los subsistemas más importantes en términos de durabilidad física de los sistemas solares fotovoltaicos (FV), debido a que deben proporcionar estabilidad mecánica a los paneles durante toda su vida útil, la cual puede extenderse hasta 30 años (con el correcto mantenimiento).

Teniendo en cuenta que los sistemas de energía solar FV pueden ser muy versátiles, existen diferentes tipos de estructura para adaptarse al tipo de techo o cubierta con la que se cuente.

La correcta selección de la estructura de montaje para los paneles solares en edificaciones resulta ser muy importante, ya que permite reducir en una gran medida los riesgos de filtraciones o degradaciones en las cubiertas, como resultado de la instalación.

Es importante que los elementos de fijación de la estructura o que los elementos que tengan contacto con las superficies sean impermeables, o que tengan elementos que lo sean, como EPDM (caucho de etileno propileno dieno).

Las estructuras de montaje de los paneles pueden variar entre fabricantes, en cuanto a dimensiones, materiales o diseños. Sin embargo, los principios básicos de calidad y consideraciones técnicas son comunes a la gran mayoría.

En las figuras 16, se presentan algunas imágenes de referencia y se deja a consideración del usuario de este Manual elegir el fabricante, la referencia y/o marca.

VERSIÓN BORRADOR

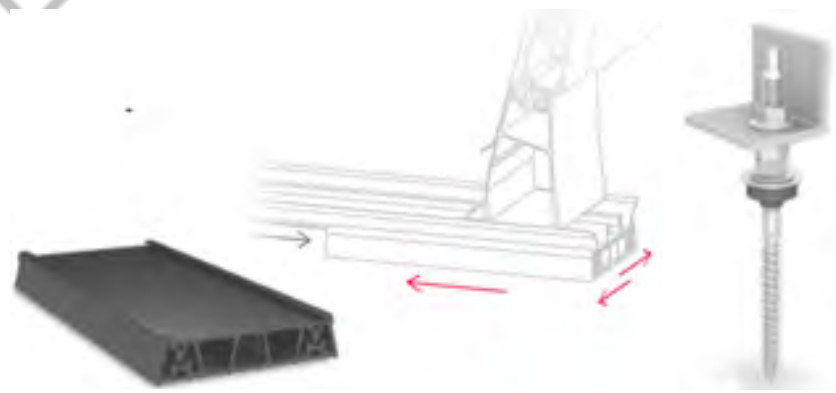


Figura 16. *Elementos de soporte y fijación de estructuras de montaje con EPDM.*
Fuente: *K2 Mounting Systems*

A continuación, se presentan los tipos de estructura (figura 17) más comunes para la instalación de paneles solares en edificaciones en Colombia.

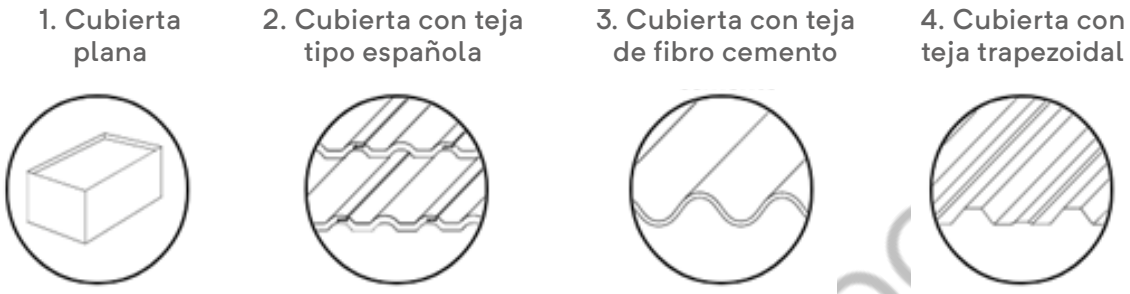


Figura 17. *Tipos de estructura para la instalación de paneles solares en edificaciones*
Fuente: *K2 Mounting Systems*

VERSIÓN BORRADOR

1. Cubierta plana

Los sistemas de montaje para cubierta plana están diseñados para utilizarse en aquellas cubiertas que no puedan ser perforadas o que no cuenten con una inclinación que se ajuste a las condiciones ideales de instalación de los paneles solares en la cubierta. Usualmente, este tipo de estructura requiere el uso de contrapesos, para compensar la sujeción mecánica que logra cuando se puede perforar la cubierta y fijar directamente la estructura. Este tipo de estructuras se pueden configurar en dos orientaciones o en una orientación (figura 18 y 19).

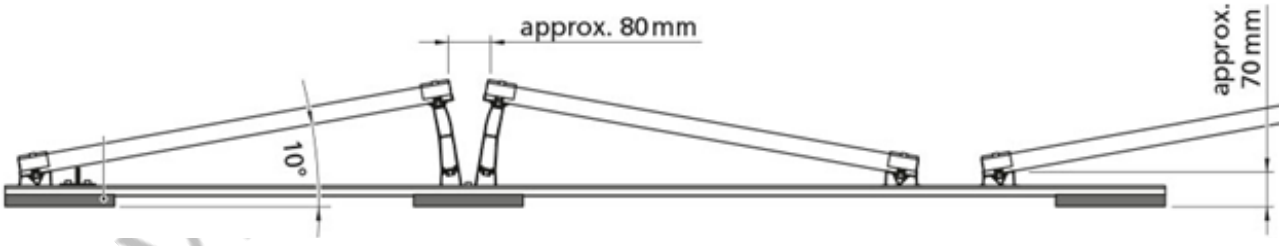


Figura 18. *Estructura de montaje en dos orientaciones y 10° de inclinación para cubierta plana.*
Fuente: *K2 Mounting Systems*

Las cubiertas que se definan como posibles lugares de instalación de paneles solares deben cumplir con los requisitos mínimos de exposición y orientación al sol para garantizar en la mayor medida posible la generación de energía.



***Figura 19.**. Estructura de montaje en una orientación y 10° de inclinación para cubierta plana.*
***Fuente:** K2 Mounting Systems.*

2. Cubierta con teja (tipo española)

En Colombia es muy usual encontrar techos que utilicen tejas de barro o tipo española. Este tipo de teja no permite que se puedan hacer perforaciones directamente sobre ellas y se requiere que se busque la subestructura de construcción del techo para poder fijar mecánicamente la estructura de montaje de los paneles. Lo anterior se puede lograr utilizando un elemento de fijación especial, como el que se presenta en la figura 20.



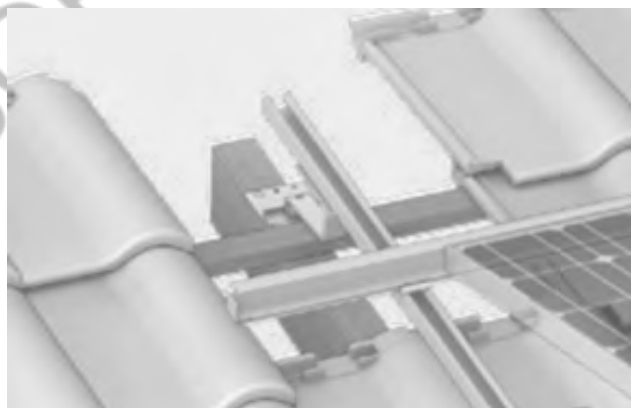


***Figura 20.** Elemento de fijación de estructura de montaje a subestructura de techo con teja de barro.*
***Fuente:** K2 Mounting Systems*

3. Cubierta con teja trapezoidal o de fibrocemento

Los sistemas de montaje para cubiertas con teja trapezoidal buscan aprovechar la rigidez de este tipo de tejas para proporcionar la superficie de fijación mecánica de todo el sistema.

Cada fabricante tiene su propia tecnología, sin embargo, se pueden encontrar algunos aspectos en común, como la forma de los elementos de sujeción de la estructura a la teja y de la estructura al panel.

Como se muestra en la figura 21, de acuerdo con el tipo de teja con la que se haya construido la cubierta, se tendrá que utilizar un elemento diferente para proporcionar el punto de sujeción entre la estructura de soporte de los paneles y la cubierta. De cualquiera de las dos maneras, es importante pensar en sellar las perforaciones que se hagan en las tejas con elementos impermeabilizantes y utilizar tornillos o elementos con cubiertas EPDM.

VERSIÓN BORRADOR

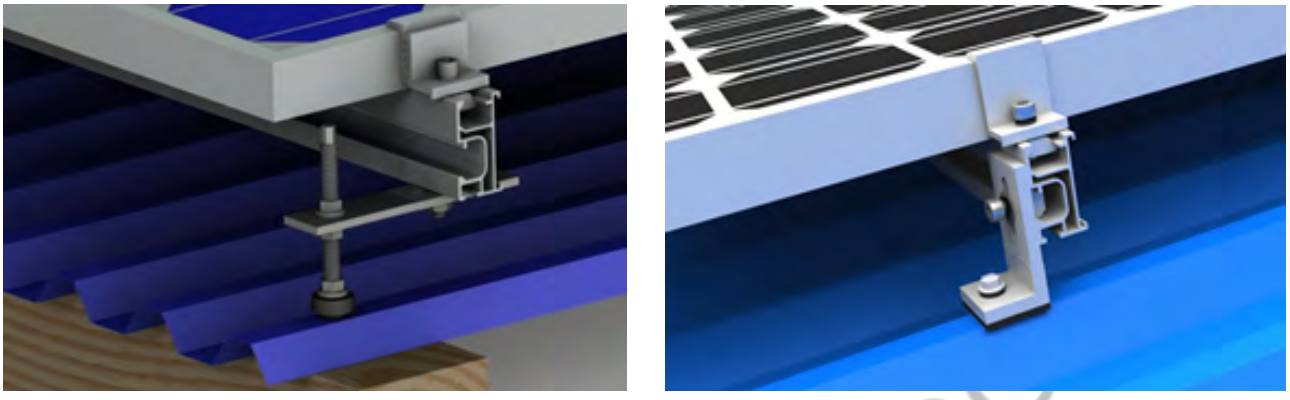


Figura 21. *Elemento de fijación de estructuras de montaje de paneles solares en cubierta*
Fuente: *K2 Mounting Systems.*

VERSIÓN BORRADOR

Inclinación del sistema de energía en cubierta

La **inclinación de un sistema de energía solar fotovoltaica estático** es muy importante para lograr el máximo aprovechamiento del recurso solar durante todo el año.

La siguiente ecuación permite estimar el ángulo óptimo que debe tener un sistema de energía solar fotovoltaico, se toma como ejemplo la ciudad de Santiago de Cali, la cual tiene una **latitud de 3,42** expresada en formato decimal.

Ángulo óptimo de inclinación

= 3,7 + 0,69 x |latitud|
= 3,7 + 0,69 x |3,42|
= 6,05°

Igualmente, para estimar la distancia mínima que debe existir entre un obstáculo circundante y un sistema de energía solar fotovoltaica se puede utilizar la latitud del sitio de instalación como punto de referencia (figura 22).

La siguiente ecuación permite estimar la distancia.

$$d = \frac{h}{(\tan(61° - |\text{latitud}|)}$$

Siendo **h, la altura del obstáculo** respecto a la horizontal de los paneles y **d la distancia mínima** que debe existir para evitar que se generen sombras sobre los paneles.

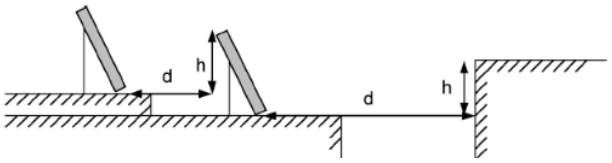


Figura 22. *Distancia mínima entre un obstáculo circundante y un sistema de energía solar fotovoltaica*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Tener en cuenta esa distancia mínima, permitirá evitar condiciones como las que se presentan en la figura 23. En la cual, un obstáculo de altura h (con respecto a la horizontal sobre la cual están instalados los paneles solares) genera una sombra parcial sobre el sistema en un momento determinado del día.

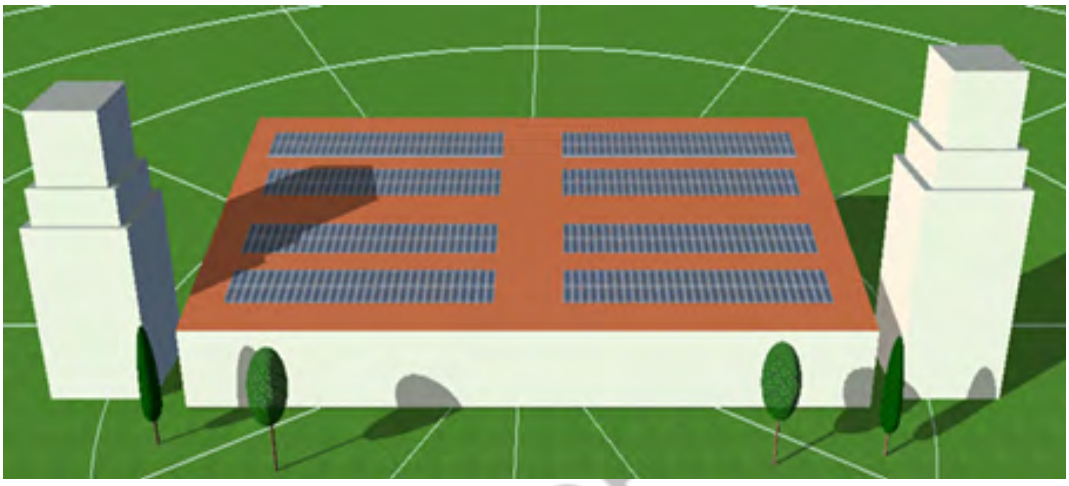


Figura 23. *Generación de sombras parciales sobre un sistema FV.*
Fuente: *UNIAJC*

VERSIÓN BO

EE.6.2. Sistemas FV de conexión a red con generación mayor o igual al 10% del consumo de la edificación

Generación de energía en sitio. Autogeneradores a pequeña escala.

De acuerdo a lo establecido por la Resolución 030 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, un Autogenerador a Pequeña Escala (AGPE) es aquel cliente que decide generar energía eléctrica, principalmente para atender sus propias necesidades y el tamaño de su instalación es inferior a 1MW (1000kW).

Como se mencionó en la sección 4.2.2, en la página del Operador de Red EMCALI se encuentra toda la información respecto al proceso y reglamentación para llevar a cabo lo establecido en la resolución CREG 030.

Caracterización del recurso solar

La irradiancia solar es la intensidad o la potencia de la radiación solar incidente en una superficie de 1 metro cuadrado (kW/m^2).

La irradiación solar, es la suma de las irradiancias incidentes en una superficie de 1 metro cuadrado durante un intervalo de tiempo dado, normalmente se expresa en una hora (kWh/m^2/día).

En la sección 4.4.3 se presenta la caracterización del recurso solar para Santiago de Cali utilizando las bases de datos de clima de UNIVALLE.

Las horas solares pico (HSP) es una unidad hipotética que se utiliza para simplificar y caracterizar el recurso solar con el que se cuenta en el lugar. Para esto se supone una irradiancia constante e ideal del sol de 1000 W/m² (figura 24).

Nota: las HSP de un lugar se calculan dividiendo el valor de su irradiación promedio entre 1000W/m².

$$HSP = \frac{(Irradiación\ (kWh/m^2/día)}{(Irradiancia\ (kW/m^2)}$$

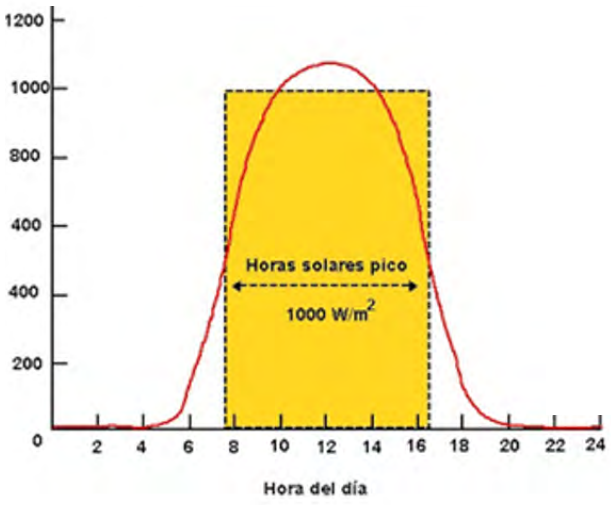


Figura 24. *Horas Solares Pico en un dia soleado.*
Fuente: *Leloux, Jonathan. (2005). Implantación de una huerta solar fotovoltaica con seguidores sobre un terreno irregular. 10.13140/RG.2.1.2597.1364/1.*

SIN BOR

Definición del recurso solar diario promedio para Santiago de Cali

La figura 25 presenta el perfil de la irradiancia promedio mensual para Cali, obtenida de las bases de datos climáticas de UNIVALLE. La caracterización del recurso solar en términos de la irradiancia promedio diaria para cada mes en la ciudad de Santiago de Cali, permite estimar el valor de las HSP promedio diarias anuales para Santiago de Cali en 4.33 HSP.

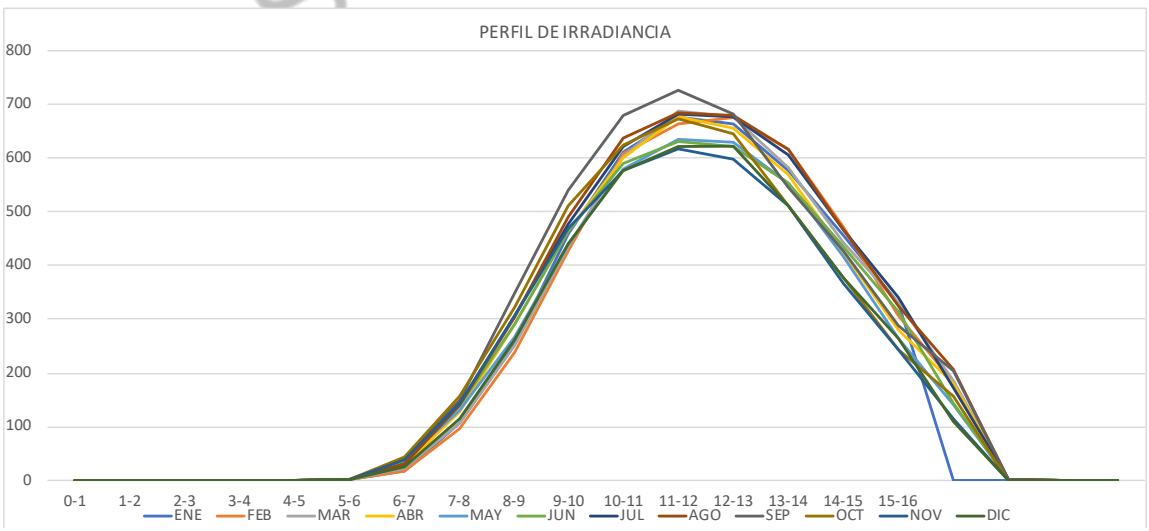


Figura 25. *Perfil de irradiancia de Santiago de Cali.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

La figura 26 presenta los valores de HSP para cada mes en Santiago de Cali.

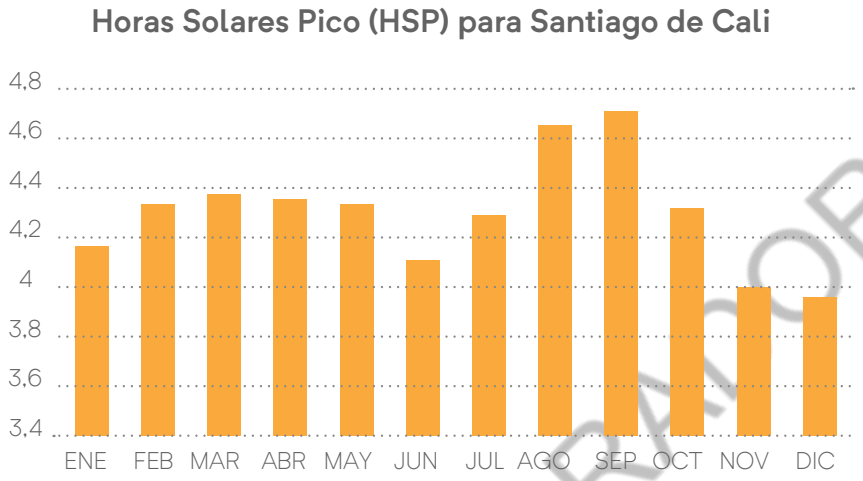


Figura 26. *Horas solares Pico Santiago de Cali (promedio diario mensual).*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

Generación de energía por unidad de área

Una vez definido el recurso solar promedio para la ciudad de Santiago de Cali, se puede definir igualmente un valor promedio de energía que se puede generar por unidad de área.

Para lograrlo, es necesario definir las características principales de un panel solar, en dimensiones y funcionamiento respecto a la radiación y la temperatura (figura 27).

Actualmente, tanto en el mercado nacional como regional, las potencias de paneles solares mas comunes oscilan entre 390W y 410W, en tecnología media celda MONO PERC. Las dimensiones standard de estos paneles solares son de 2008mm x 1002mm (2.008m x 1.002m), es decir, 2.012m² aproximadamente.

Por lo que si en 2.012m² se puede tener una potencia de 410W, por regla de tres, en 4.9m² se logra tener 1kW.

La energía es la potencia por el tiempo, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$E = P \times t$$

*donde **P** es Potencia y **t** es tiempo*

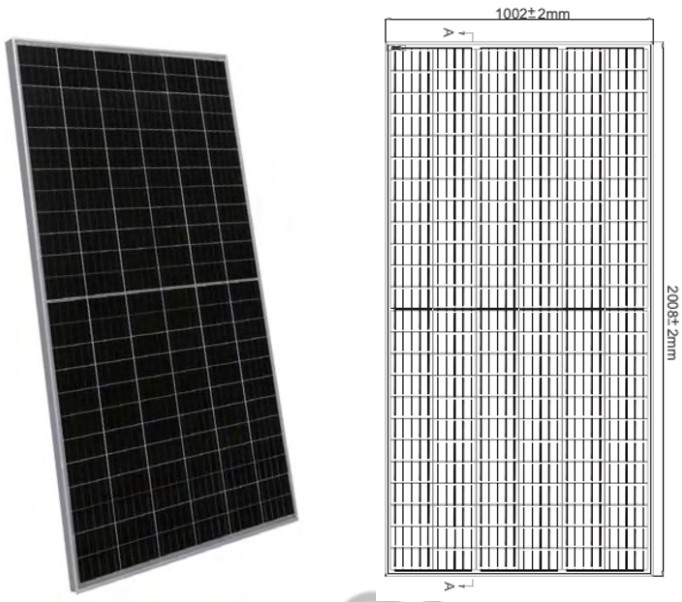


Figura 27. *Dimensiones y aspecto físico de un panel solar fotovoltaico media celda.*
Fuente: *Jinko Solar.*

Con lo anterior, se logra tener los datos suficientes para estimar, de manera preliminar, la cantidad de energía que se puede generar por unidad de área en la ciudad de Santiago de Cali, teniendo como base las dimensiones y potencia del panel descrito anteriormente. La figura 28 muestra estos datos y se hace hincapié en que los cálculos presentados son preliminares debido a que no corresponden a una simulación con software especializado, en la que se tengan en cuenta condiciones como sombreado, temperatura o pérdidas eléctricas del sistema.

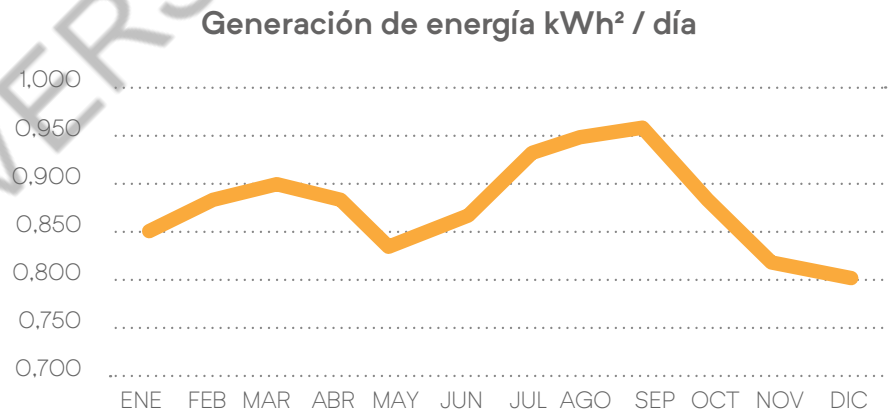


Figura 28. *Estimación de generación de energía solar promedio diaria para Santiago de Cali.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

En la tabla 7 se presenta, para cada uso definido en la Resolución 0549, el área que se debería ocupar, el peso por unidad de área y el precio estimado del sistema de generación FV para aportar el 10% de la línea base de consumo.

kWh/m2-año	TEMPLADO	ÁREA DE CONSTRUCCIÓN	CONSUMO TOTAL KWH/AÑO	META DE GENERACIÓN Y SUSTITUCIÓN EN SITIO	PROYECCION DE GENERACION SOLAR kWh/AÑO	M2 REQUERIDOS POR EL SISTEMA SOLAR	POTENCIA DE SISTEMA SOLAR KWP	KG/M2	PRECIO PROYECTO ANTES DE IVA
Hospitales	108.3	5000	541500	10%	54150	168.37	34.4	2525.5	$ 92,773,786
Oficinas	132.3	1500	198450	10%	19845	61.70	12.6	925.6	$ 33,999,922
Centros comerciales	187.8	6000	1126800	10%	112680	350.35	71.5	5255.3	$ 193,051,712

kWh/m2-año	CÁLIDO SECO	ÁREA DE CONSTRUCCIÓN	CONSUMO TOTAL KWH/AÑO	META DE GENERACIÓN Y SUSTITUCIÓN EN SITIO	PROYECCION DE GENERACION SOLAR kWh/AÑO	M2 REQUERIDOS POR EL SISTEMA SOLAR	POTENCIA DE SISTEMA SOLAR KWP	KG/M2	PRECIO PROYECTO ANTES DE IVA
Hospitales	344.1	5000	1720500	10%	172050	534.95	109	8024.3	$ 294,768,788
Oficinas	318.2	1500	477300	10%	47730	148.41	30	2226.1	$ 81,774,567
Centros comerciales	187.8	6000	1126800	10%	112680	350.35	72	5255.3	$ 193,051,712

kWh/m2-año	CÁLIDO HÚMEDO	ÁREA DE CONSTRUCCIÓN	CONSUMO TOTAL KWH/AÑO	META DE GENERACIÓN Y SUSTITUCIÓN EN SITIO	PROYECCION DE GENERACION SOLAR kWh/AÑO	M2 REQUERIDOS POR EL SISTEMA SOLAR	POTENCIA DE SISTEMA SOLAR KWP	KG/M2	PRECIO PROYECTO ANTES DE IVA
Hospitales	344.1	5000	1720500	10%	172050	534.95	109	8024.3	$ 294,768,788
Oficinas	221.3	1500	331950	10%	33195	103.21	21	1548.2	$ 56,872,130
Centros comerciales	231.5	6000	1389000	10%	138900	431.88	88	6478.2	$ 237,973,755

Tabla 7. *Estimación de generación de energía, requerimiento de área, peso y precio del proyecto para diferentes tipos de usos de diferentes zonas climáticas.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Como se menciono anteriormente, los cálculos presentados en esta sección son una aproximación a la cantidad de energía que se podría generar por unidad de área con paneles solares en la ciudad de Santiago de Cali; sin embargo, se hace necesario que estos cálculos sean validados en un software de simulación, como se presenta el final de esta sección (ver anexos).

Lo anterior debido a que condiciones como la radiación incidente sobre el panel y su temperatura pueden afectar la generación de energía (figura 29). Estas condiciones de funcionamiento de un panel solar hacen relevante que se tengan en cuenta estrategias extra como la combinación de sistemas con cubiertas vegetales en los edificios, que permitan reducir la temperatura circundante a los paneles solares y así mejorar sus condiciones de funcionamiento.

VERSIÓN PRELIMINAR

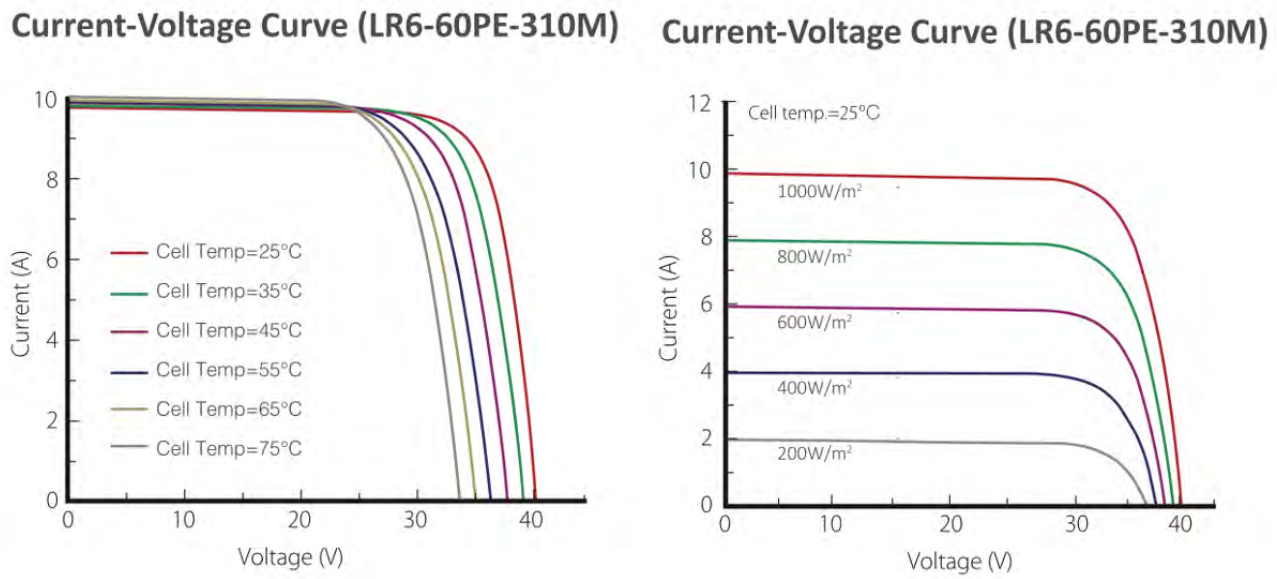


Figura 29. *Comportamiento de panel solar fotovoltaico ante variaciones de radiación y temperatura.*
Fuente: *LONGI SOLAR*

VERSIÓN BORR

Estrategia de generación de energía eléctrica en sitio por medio de sistemas de energía solar con conexión a red

Un sistema de energía solar fotovoltaico con conexión a la red es un sistema que trabaja de manera paralela a la red (de hecho necesita de ella para poder funcionar) y permite que parte del consumo de energía eléctrica de los espacios provenga de los paneles solares en lugar de la red externa convencional. Lo anterior permite que se genere un ahorro en el consumo de la red convencional y que se consuma energía generada en el mismo sitio de uso (figura 30).



Figura 30. *Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico de conexión a red.*
Fuente: *FRONIUS.*

EE.6.3. Sistemas FV de conexión a red y almacenamiento de energía – Sistema híbrido

Estrategia de generación de energía eléctrica en sitio por medio de sistemas de energía solar con conexión a red y almacenamiento.

Un sistema de energía solar fotovoltaico con conexión a la red y almacenamiento de energía es un sistema que trabaja de manera paralela a la red y permite que parte del consumo de energía eléctrica de los espacios provenga de los paneles solares en lugar de la red externa convencional.

De igual manera, permite que cuando la red convencional falle, algunas cargas (o todas, según el tipo de carga e inversor) puedan ser atendidas por el sistema de paneles + inversor + batería (figura 31).



Figura 31. *Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico de conexión a red y almacenamiento.*
Fuente: *FRONIUS.*

VERSIÓN COLABORADOR

Mecanismos de financiación para proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía y Eficiencia Energética en edificaciones

Actualmente, el endeudamiento directo o la utilización de recursos propios no es la única manera de ejecutar un proyecto de EE o FNCE, ya sea en el sector público o en el sector privado. También existen modelos que, en lugar de requerir destinar un presupuesto que afecte el flujo de caja o la capacidad de endeudamiento, permiten que los interesados paguen por los servicios o ahorros generados por los bienes materiales. En este caso, un tercero es quien hace la inversión. El siguiente diagrama permite presentar más con detalle lo expuesto anteriormente (figura 32).

COMPRA DEL PRODUCTO	El usuario final de la energía realiza la inversión, ya sea con fuentes de dinero propias o por medio de líneas especiales de financiación como leasing financiero, préstamos, etc. En esta modalidad, los bienes son propiedad del usuario final y entran en sus estados financieros. Si existen beneficios tributarios, estos son aplicables al usuario final de la energía.
COMPRA DEL SERVICIO	El usuario final de la energía no realiza ninguna inversión. En este caso, un tercero realiza la inversión para la compra de equipos y construcción del proyecto de energía fotovoltaica. El usuario final de la energía firma un contrato de compra de servicios de energía con el inversionista a un precio inferior de la energía convencional y con unas condiciones que varìan depenrior al de la energ`ía convencional y con unas condiciones que varían dependiendo del modelo que proponga el inversionista. En esta modalidad, los bienes son propiedad del inversionista hasta que se cumpla el contrato establecido. Si existen tributarios, estos son aplicables al inversionista.

Figura 32. *Diagrama mecanismos de financiación.*
Fuente: *elaboración propia, 2021..*

VERSIÓN BORRADOR

Retornos de inversión proyectados en las dos modalidades

El retorno de inversión en proyectos de eficiencia energética (EE) y energías renovables (EERR) se puede estimar teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. Monto de la inversión para la construcción del proyecto.
2. Marco regulatorio que permita estimar los incentivos tributarios sobre la inversión.
3. Estimación de los ahorros en el consumo energético fruto de la implementación del proyecto. Este proceso es diferente para proyectos de EE y para EERR.
4. Valor de la tarifa de energía que se pague por parte del usuario final.
5. Estimación del recurso natural que se quiera transformar en energía (para el caso de proyectos de EERR).

En la sección anterior se presentó como la manera de abordar proyectos de EE o EERR puede ser de dos tipos, por compra del bien material (ya sea con fondos propios o financiado por alguna entidad) o por compra de servicio (ya sea mediante un contrato de compraventa de energía o mediante un contrato de pago por ahorro).

En cualquiera de las dos modalidades anteriores se debe hacer un análisis de retorno de la inversión, con el objetivo de viabilizar el proyecto.

En la figura 33 se presentan las proyecciones financieras de un proyecto de energía solar en el cual el usuario compra el bien material.

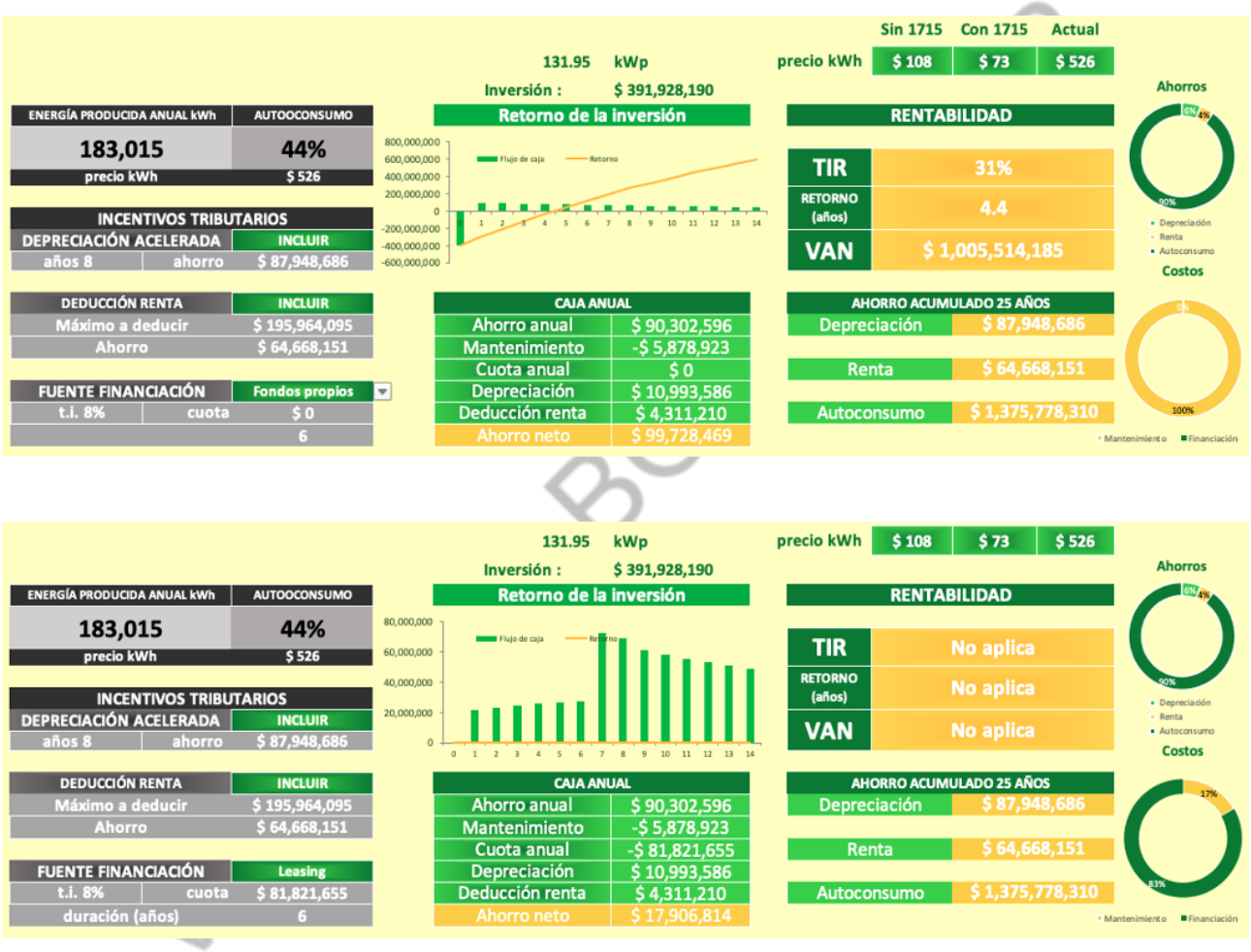
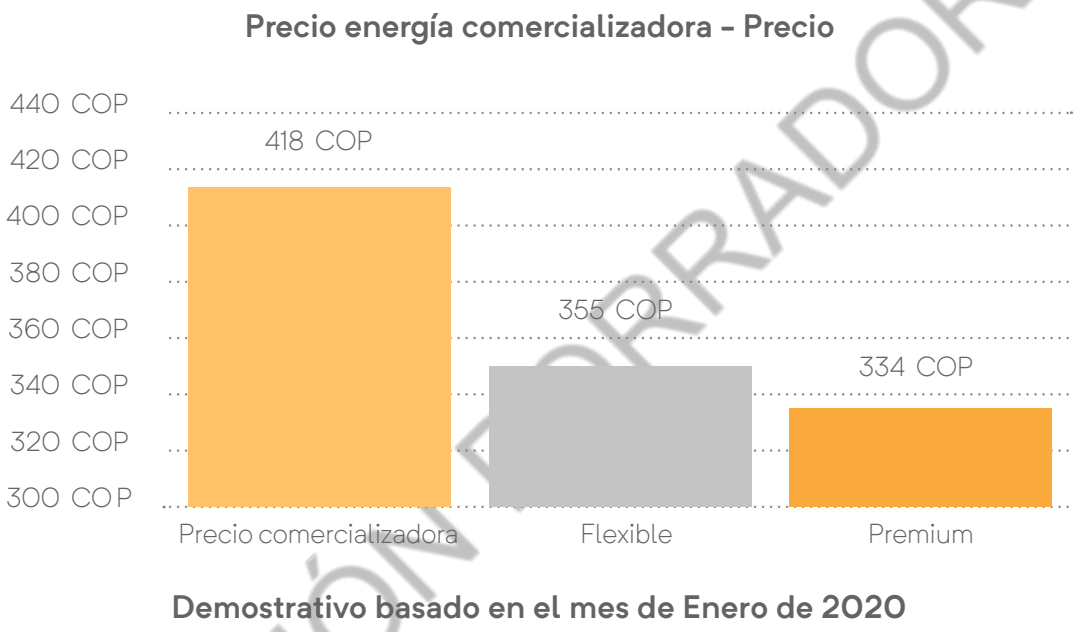


Figura 33. *Proyección de retorno de inversión de un sistema solar FV usando recursos propios y leasing.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

En la figura 34 se presentan las proyecciones de ahorro de energía con un sistema de energía solar en el cual el usuario compra el servicio.

El objetivo de estos modelos es que el usuario final de la energía no tenga que invertir dinero para la instalación del sistema, con la condición que se deba firmar un contrato de compra de energía durante un tiempo determinado y a un valor de compra de la energía específico, buscando que este precio sea inferior al que se paga a la red de energía convencional.



ENERO	SITUACIÓN ACTUAL	FLEXIBLE	PREMIUM
Comercializadora	18.111.409 COP	11.660.649 COP	11.660.649 COP
Contrato de Servicios Energéticos	- COP	5.483.147 COP	5.160.609 COP
Valor total	18.111.409 COP	17.143.795 COP	16.821257 COP
Ahorro mensual	- COP	967.614 COP	1.290.152 COP

Figura 34. *Proyección de retorno de flujo de caja de un modelo de venta de energía.*
Fuente: *RECAP.*

VERSIÓN BORRADOR

Términos y definiciones

ENERGÍA SOLAR	Energía generada a causa de reacciones de fusión en el interior de sol.
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA (FV)	Es la resultante del proceso de transformación de energía solar a energía eléctrica, producido mediante elementos semiconductores denominados células fotovoltaicas.
IRRADIANCIA	Densidad de potencia incidente en una superficie o la energía incidente en una superficie por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se mide en kW/m².
IRRADIACIÓN	Energía incidente en una superficie por unidad de superficie y a lo largo de un cierto período de tiempo. Se mide en kWh/m².
SISTEMA SOLAR FV AUTÓNOMO (OFF-GRID)	Sistema solar FV aislado de cualquier red eléctrica.
SISTEMA SOLAR FV DE INTERCONEXIÓN A LA RED (GRID-TIE)	Sistema solar FV sin sistema de almacenamiento de energía. La energía producida por los paneles fotovoltaicos es consumida inmediatamente por las cargas durante la jornada diurna.
STC (Standard Test Conditions)	Condiciones estándar de medida. Define las condiciones de prueba de células o paneles solares. 1000 W/m², 25°C, distribución espectral AM 1.5.
PANEL SOLAR	Elemento conformado por un conjunto de células solares capaces de transformar directamente en electricidad la energía de los fotones que componen el espectro visible de la luz solar.
INVERSOR	Equipo electrónico de potencia capaz de convertir corriente continua en corriente alterna.

VERSIÓN BORRADOR

FNCE	Fuente No Convencional de Energía.
FV	Fotovoltaico.
AGPE	Auto Generador a Pequeña Escala. Actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica principalmente para suplir sus propias necesidades con sistemas de generación de energía menores o iguales a 1MW.
AGAE	Auto Generador a Gran Escala. Actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica principalmente para suplir sus propias necesidades con sistemas de generación de energía mayores a 1MW.
Generador Distribuido	Persona jurídica que genera energía eléctrica cerca de los centros de consumo y está conectado al Sistema de Distribución Local (SDL).
Sistema de Distribución Local (SDL)	Sistema de transporte de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas y subestaciones que operan a niveles de tensión 3, 2 y 1, dedicados a la prestación del servicio en un mercado de comercialización.
Excedente de energía	Toda exportación de energía eléctrica realizada por un autogenerador.
Exportación de energía	Cantidad de energía entregada a la red por un autogenerador o un generador distribuido.
Importación de energía	Cantidad de energía consumida de la red por un autogenerador.
Créditos de energía	Cantidad de energía exportada a la red por un AGPE con FNCER que se permuta contra la importación de energía que este realice, durante un periodo de facturación.

VERSIÓN BORRADOR

VERSIÓN BORRADOR

VERSIÓN BORRADOR

Infraestructura Verde

TOMO II | Capítulo 5

ÍNDICE DE CONTENIDO

TOMO II | Capítulo 5

		Pág.
A.	**CONTEXTO.**	409
B.	**FUNCIONES Y EFECTOS DE LAS COBERTURAS VEGETALES.**	412
C.	**BENEFICIOS DE LAS COBERTURAS VEGETADAS.**	414
5.1.	**CLASIFICACIÓN DE LAS COBERTURAS VEGETALES.**	418
	CV.1. MATERAS AUTÓNOMAS (CV.1.1. - CV.1.2.).	418
	CV.2. CUBIERTAS TRANSITABLES (CV.2.1. - CV.2.2.).	419
	CV.3. CUBIERTAS VEGETADAS SEGÚN SU TIPO. CV.3.1. Extensivas inclinadas. CV.3.2. Extensivas planas: laminares sin riego – sedum; laminares. con riego – coberturas bajo impacto. CV.3.3. Intensivas laminares: con cobertura y herbaceas perennes; con herbaceas y arbustos perennes; con arborización.	420
	CV.4. CUBIERTAS VEGETADAS SEGÚN SU IMPACTO AMBIENTAL. CV.4.1 Reguladora de aguas lluvia. CV.4.2. Reguladora de clima urbano. CV.4.3. Para energía solar. CV.4.4. Biodiversa. CV.4.5. Para agricultura urbana.	423
	CV.5. JARDINES VERTICALES. CV.5.1. Jardines verticales con enredaderas: sobre muros; sobre rejas y estructuras metálicas; sobre guayas y mallas. CV.5.2. En contenedores: con materas individuales, o módulos de plástico o metal. CV.5.3. Hidropónicos con tubos. CV.5.4. Hidropónicos con mantas y textiles. CV.5.5. Con sustrato: en módulos flexibles o rígidos. CV.5.6. De alto impacto ambiental: biodiversa, bio filtrante o para agricultura urbana.	427

Pág.

5.2.	**REQUISITOS DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.**	434
	– Planificación. – Emplazamiento y condiciones geográficas. – Resistencia al viento. – Cargas estructurales y de elementos de seguridad. – Pendiente. – Indicadores de las coberturas vegetales en el proyecto. – Criterios y selección de especies. – Formas de vegetación.	
5.3.	**REQUISITOS TÉCNICOS EN LA CONSTRUCCIÓN.**	440
	– Impermeabilización. – Barreras radiculares. – Capa protectora y conductora. – Capa de drenaje. – Filtros. – Sustratos. – Franjas marginales. – Prevención de incendios. – Protección contra emisiones. – Protección contra la eflorescencia. – Agua y sistemas de riego. – Materiales y compatibilidad ambiental. – Mantenimiento. – Secciones tipo y composición técnica.	
5.4.	**BENEFICIOS AMBIENTALES.**	452
	– Calidad del aire. – Captura de carbono. – Control de escorrentía. – Control acústico. – Mitigación del efecto de isla de calor. – Eficiencia energética. – Biodiversidad. – Impactos sociales y económicos.	
5.5.	**ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN.**	459
	– Porcentajes mínimos de cobertura vegetal sugeridos. – Incentivos para su uso.	
	TÉRMINOS Y DEFINICIONES.	461

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de cubiertas transitables y vegetadas.
Tabla 2. Clasificación de los jardines verticales.
Tabla 3. Referencia del tipo de vegetación según el espesor del sustrato.
Tabla 4. Requisito de cobertura vegetada.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cubierta transitable peatonal.
Figura 2. Funcionamiento básico de una cubierta vegetada.
Figura 3. Cubiertas extensivas planas e inclinadas.
Figura 4. Cubiertas extensivas planas con sedum.
Figura 5. Cubierta intensiva con arborización.
Figura 6. Cubierta intensiva con mobiliario urbano.
Figura 7. Construcción de cubiertas reguladoras de aguas lluvias.
Figura 8. Cubierta vegetada para climatización urbana.
Figura 9. Cubierta con paneles solares.
Figura 10. Estrategias de diseño de hábitats en una cubierta biodiversa.
Figura 11. Cubierta huerta urbana.
Figura 12. Enredadera se adhiere a un edificio usando ventosas adhesivas agresivas o raíces trepadoras que pueden dañar las superficies y entrar en huecos y grietas.
Figura 13. Montaje y pared final con sistemas de paneles enrejados.
Figura 14. Cierre del sistema de cables mostrando el conector de abrazadera cruzada.
Figura 15. Izq. Sistema Maze TRI Large Vertical Garden con 9 materas. Der. Sistema sin riego con materas cerámicas.
Figura 16. Izq. Esquina Oasis d' Aboukir, Paris. Patrick Blanc. Der. Tubos hidropónicos en fachada del Pabellón de USA, Expo Milán 2015.
Figura 17. Jardín Vertical con sustrato en fachada.
Figura 18. Izq. Hospederos para la AviFauna. Der. Nido en jardín vertical con helechos.
Figura 19. Izq. Jardín vertical purificador de aire con plantas. Der. Sistema de jardín bio filtrante.
Figura 20. Relación vegetación vs Tipo de cubierta vegetada.
Figura 21. Cubierta transitable peatonal.
Figura 22. Cubierta vegetada extensiva laminar sin riego.
Figura 23. Cubierta vegetada extensiva laminar con riego.
Figura 24. Cubierta vegetada intensiva con riego y herbáceas.
Figura 25. Cubierta vegetada intensiva con riego y arborización.
Figura 26. Cubierta vegetada de gran aporte ambiental biodiversa.
Figura 27. Cubierta vegetada de gran aporte ambiental reguladora de cargas pluviales.
Figura 28. Reducción de temperatura con cubiertas vegetadas en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia.

A.

Contexto

Las ciudades son artefactos hechos por el hombre y a menudo opuestos a la naturaleza (Rodenburg et al., 2001)

Es imposible entender los sistemas de cobertura vegetal en las edificaciones desligados de un sistema de infraestructura verde distrital de impacto en diferentes escalas que complementa la estructura ecológica principal. La infraestructura verde se puede definir como *"una red de zonas naturales, semi naturales y de otros elementos ambientales, planificada de forma estratégica, diseñada y gestionada para la prestación de una extensa gama de servicios eco sistémicos" (COM 249, 2013),*

La infraestructura verde es un oxímoron, un concepto formado por dos términos polarizados que ofrecen un significado diferente. Un concepto gris, antrópico y el término verde como concepto natural. Los elementos de este tipo de infraestructura en las ciudades aportan múltiples beneficios, incluyendo la mejora de la salud y el bienestar, proporcionar sombra, regulación térmica, un aire más puro y un agua de mejor calidad.

A partir de una revisión y análisis de las determinantes de cambio, uso y transformación de la biodiversidad en el país, y tomando en consideración los resultados de acuerdos globales y organismos multilaterales como el Convenio de Diversidad Biológica (CDB) y la Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (Ipbes), el Instituto Humboldt planteó en el año 2018 una apuesta llamada Transiciones Socio ecológicas hacia la Sostenibilidad (TSS). Dicha revisión plantea que las TSS deben estar acompañadas de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) asociadas con la idea de transitar hacia estados de conservación y perdurabilidad del patrimonio biocultural del país.

Actualmente el Distrito de Santiago de Cali combina problemáticas de tipo ambiental tales como los cambios en el clima por el aumento de la temperatura global y el efecto de islas de calor, contaminación de diferentes tipos y pérdida de la biodiversidad urbana; problemáticas sociales como la incohesión, la violencia intrafamiliar y la delincuencia; problemáticas de salud pública como enfermedades cardiovasculares y respiratorias, todas asociadas entre sí y relacionadas directamente con el entorno urbano inmediato. Muchos de los problemas actuales pueden ser abordados con Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), mediante el uso de nuevos modelos de urbanismo (ecológico, urbanismo del paisaje, urbanismo de procesos) que persiguen una mejor y mayor integración de la naturaleza en las ciudades, tanto en la parte central urbana como en su perímetro, valorando y promoviendo proyectos estratégicos de infraestructura verde y cobertura vegetal en edificaciones.

VERSIÓN BORRADOR

VERSIÓN BORRADOR

La Política Nacional de Cambio Climático (PNCC), formulada en 2014, aprobada por la Comisión Intersectorial de Cambio Climático (CICC) y liderada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mencionó la necesidad de incentivar la promoción de la conservación de la estructura ecológica principal y el manejo del paisaje, a través de la construcción y mantenimiento de espacios públicos urbanos verdes.

Uno de los dos objetivos generales de la Política de Sostenibilidad Ambiental y Conservación Ecológica (Artículo 9, Acuerdo 0373 de 2014) del Distrito de Santiago de Cali, es establecer relaciones espaciales efectivas entre los elementos de la Estructura Ecológica Municipal en el entorno natural y el construido, principalmente el espacio público, potenciando no sólo los beneficios ecológicos y de funcionamiento eco sistémico, sino también beneficios urbanísticos, recreativos y culturales. Así mismo, define como estrategias: Formular y aplicar las determinantes de uso y ocupación del territorio de acuerdo con las potencialidades y limitaciones de la base eco sistémica con el fin de proteger los recursos naturales que proveen bienes y servicios ambientales (agua, energía, seguridad alimentaria, regulación del clima, entre otros) y articular la Estructura Ecológica Principal con los sistemas de movilidad, equipamientos, servicios públicos y espacio público, a través de la reglamentación de la Estructura Ecológica Complementaria, con el fin de mejorar el hábitat urbano.

En Colombia, la implementación, regulación técnica y normativa sobre la infraestructura verde y la cobertura vegetal en las edificaciones tiene pocas referencias y antecedentes. La Guía de techos verdes de Bogotá D.C. (Acuerdo 418 de 2009) está basada en el funcionamiento general de las cubiertas ajardinadas y no en la regulación de los componentes y materiales como parte integral de los sistemas de cobertura vegetal horizontal, en la guía, se modificó las clasificaciones de referencia internacional y propuso recomendaciones sin base en estudios previos o estudios de casos sobre tecnologías con aplicaciones en uso de más de 10 años.

La implementación de las coberturas vegetales en los edificios es una de las posibilidades de mejora ecológica, funcional y de diseño del entorno de vida y trabajo. Esto se aplica a todos los tipos de coberturas vegetales incluyendo métodos específicos de construcción, así como materiales de construcción y uso de plantas.

El Plan Integral de Mitigación y Adaptación al Cambio de Santiago de Cali, adoptado por Decreto No.2039 del 1 de diciembre de 2020, muestra la

existencia de zonas con presencia de islas de calor que afectan las condiciones de confort y calidad ambiental del Distrito, con el aumento significativo de la temperatura superficial urbana, efecto que se percibe en mayor proporción en horas de la noche, cuando la temperatura almacenada durante el día por las superficies impermeables es liberada, creando ambientes térmicos más cálidos en comparación a las condiciones climáticas de lugares donde existe mayor presencia de vegetación y cobertura natural. (Alcaldía de Santiago de Cali, 2020) El mismo plan, dentro de la formulación de la propuesta de tratamiento para los efectos de la Isla de Calor Urbana (ICU), recomienda adoptar iniciativas de coberturas vegetales en cubiertas y utilizar materiales que aumenten el microclima en zonas de expansión y proyectos de vivienda nueva. De igual forma, el eje programático de infraestructura promueve la transición de barrios a eco barrios mediante la implementación de techos y fachadas verdes.

Las coberturas vegetales instaladas en las áreas construidas privadas que sigan las recomendaciones del Manual de Construcción Sostenible complementarán la estrategia de conectividad ecológica del Plan de Silvicultura de Santiago de Cali al implementar las áreas de conexión entre núcleos y parches (Contreras R, 2016) pensada desde la funcionalidad ecológica.

Los espacios de aplicación de la cobertura vegetal propuestos serán las cubiertas, losas, balcones, aleros y fachadas exteriores e interiores de las edificaciones públicas y privadas. Las áreas privadas se definen según su finalidad en la Clasificación del Sistema de Espacio Público (Artículo 246, Acuerdo 0373 De 2014) como elementos complementarios del espacio público de propiedad privada conformantes del espacio público abierto.

En el análisis sistémico de la relación entre las TSS y las SBN, las cubiertas y jardines verticales se relacionan directamente con las estrategias de Bioingeniería, infraestructura verde y azul, reservorios de agua multipropósito y terrazas vivas agrícolas.

El propósito de este capítulo es establecer los términos y definiciones, la clasificación, los principios, los requisitos generales y específicos para la planificación, ejecución de la construcción y mantenimiento de las coberturas vegetales en edificios incluyendo aquellos relacionados a la sostenibilidad y que se ajusten al estado actual del conocimiento y reflejen las tecnologías más avanzadas.

VERSIÓN BORRADOR

B.

Funciones y efectos de las coberturas vegetales

VERSIÓN BORRADOR

Los procesos de expansión urbana y el desarrollo de las actividades humanas propias de las urbes tienen efectos adversos que inciden en el deterioro de las condiciones ambientales de nuestra ciudad y son necesarias de enfrentar para mitigar los efectos del cambio climático.

Considerando que Santiago de Cali es una ciudad vulnerable a los efectos del cambio climático, y como respuesta a los acuerdos suscritos en esta materia que buscan integrar criterios y procesos de sustentabilidad en la planificación, el diseño, la construcción y la operación de las edificaciones y su entorno, contribuyendo a mejorar las condiciones de habitabilidad urbana, por medio del fomento y la regulación de construcciones de coberturas vegetales, se busca contribuir a la generación de beneficios en distintos ámbitos, lo que representa un aporte significativo para el mejoramiento de la calidad de vida en la ciudad.

Los criterios de sostenibilidad donde las coberturas vegetales ofrecen impactos de medio o alto impacto son:

Adaptación al cambio climático

- Prevención de inundaciones y regulación de escorrentías.
- Reducción de los riesgos derivados de las inundaciones e incremento de la recarga de agua de los acuíferos.
- Regulación térmica y disminución de las islas urbanas de calor.
- Mejora de la permeabilidad ecológica, el movimiento y refugio de especies ante condiciones climáticas extremas mediante la creación de redes ecológicas.

Mitigación del cambio climático

- Aumento del secuestro de carbono (efecto sumidero).
- Prolongación de vida útil de fuentes de energía renovable (Paneles solares)
- Reducción del consumo de energía por aislamiento vegetal.

Mejora de la biodiversidad

- Mantenimiento, protección y mejora de los hábitats naturales, la vida silvestre y la biodiversidad.
- Incremento de la bio capacidad.

Mejora de la calidad ambiental

- Mejora de la calidad del aire.
- Mejora de la calidad del agua (filtración de contaminantes del agua lluvia).
- Reducción de los niveles de ruido.

Mejora de la salud y el bienestar

- Mejora de los valores estéticos.
- Incremento de espacios para la práctica de deporte y del ocio.
- Incremento de espacios para la contemplación y el bienestar espiritual.
- Generación de espacios para la formación y la educación.
- Generación de recursos comunitarios (implicación de la ciudadanía).
- Incremento del sentimiento de pertenencia e identidad.
- Seguridad alimentaria creando espacios de agricultura urbana y producción de alimentos de proximidad.

VERSIÓN BORRADOR

C.

Beneficios de las coberturas vegetales

VERSIÓN BORRADOR

Beneficios para los propietarios y usuarios de la edificación



1. Incremento del precio del edificio

Las coberturas vegetales aportan un valor añadido al hacer edificios más sostenibles y atractivos. La incorporación de nuevos usos mejoran la percepción que se tiene de los inmuebles y favorecen la revalorización económica (Guía de azoteas vivas y cubiertas verdes, 2015).



2. Incremento de la vida útil de la impermeabilización.

Las coberturas vegetales añaden una capa adicional de protección a la cubierta. Las grandes diferencias de temperatura de más de 100°C a lo largo de un año o las de 60°C en un dia en un techo tradicional, aceleran el envejecimiento de la membrana impermeabilizante facilitando la aparición de grietas y luego, goteras. La vegetación como el sustrato protegen la membrana impermeabilizante amortiguando las fluctuaciones de temperatura.



3. Aislamiento térmico.

Uno de los beneficios más importantes de las coberturas vegetales es la reducción de los costes de refrigeración, que dependerá del tipo de cubierta que se construya y del grosor de tierra que incorpore. Una azotea sin protección y con un aislamiento deficiente tendrá como consecuencia el sobrecalentamiento de las viviendas situadas justo debajo.



4. Aislamiento acústico.

El ruido en las ciudades es una de las causas de estrés y trastorno del sueño. Las coberturas vegetales reducen la reflexión del sonido hasta 3 dB y mejoran el aislamiento acústico hasta 12 dB. Eso puede ofrecer una mejora de la calidad de vida a las personas que viven cerca de espacios ruidosos.



5. Producción de energía solar fotovoltaica y agua caliente.

Los paneles solares montados sobre una cubierta verde pueden generar hasta un 16% más de energía, ya que la vegetación actúa como sistema natural de enfriamiento para los paneles e impiden que las partículas en suspensión del aire se fijen en las células solares.

Fuente: *Guía de azoteas vivas y cubiertas verdes. (2015). Área de Ecología Urbana. Ayuntamiento de Barcelona. Barcelona. Illustraciones adaptadas de Contreras et al., 2015.*

EDICIÓN BORRADOR

Beneficios públicos



1. Reducir el Efecto de Isla de Calor.

El aumento de temperatura en las zonas urbanas causado por la sustitución de vegetación natural con pavimentos, edificaciones y otras estructuras necesarias para dar cabida a poblaciones en crecimiento da como resultado la conversión de la luz solar en calor. La vegetación enfría los edificios y su área circundante a través de los procesos de sombreado, reduciendo el calor reflejado y aportando evapotranspiración.

- Promueve los procesos de enfriamiento natural,
- Reduce la temperatura del ambiente en áreas urbanas.
- Rompe el flujo de aire vertical enfriando el aire a medida que se ralentiza.
- Genera sombra en las superficies y las personas.



2. Mejorar la Calidad del aire exterior reduciendo los niveles de contaminación.

Las elevadas temperaturas del moderno entorno urbano con un creciente número de vehículos, aires acondicionados y emisiones industriales ha provocado un aumento de los óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), compuestos orgánicos volátiles (VOCs), monóxido de carbono (CO) y gran cantidad de material particulado entre PM10 y PM2.5.

- Las superficies de las hojas, la superficie porosa del suelo y los sistemas textiles de los jardines verticales capturan contaminantes del aire por deposición atmosférica.
- Filtra gases nocivos y material particulado.



3. Regular y prevenir las Inundaciones.

La mayor edificabilidad de las ciudades obliga al crecimiento de la capacidad de las redes de alcantarillado pluvial, algo económicamente inviable en las áreas de renovación urbana y re-densificación.

- El aprovechamiento de un alto volumen anual de las precipitaciones permite generar espacio en las redes para mayor área construida.
- Los sistemas híbridos de captación, regulación y/o aprovechamiento, permiten espacio en la red existente administrando el tiempo de entrega hasta en 24 horas.

Fuente: *Illustraciones adaptadas de Contreras et al., 2015.*

VERSIÓN BORRADOR



4. Mejorar la Salud y el Bienestar de los habitantes.

Las coberturas vegetales en edificaciones proporcionan una variación estética en el entorno en el que la gente lleva a cabo sus actividades diarias. Estudios académicos han vinculado la presencia de plantas para mejorar de la salud humana y el bienestar mental.

- Crea espacios de ocio y recreación.
- Crea interés visual.
- Oculta características poco estéticas del entorno urbano.
- Proporciona elementos y estructuras independientes en la comunicación de la ciudad a propios y turistas.



5. Creación de nuevos hábitats para la fauna.

Las coberturas vegetales en cubiertas y paredes pueden compensar parte de las áreas verdes perdidas en la construcción de edificios y crear espacios propios para la fauna en nuestras ciudades. Muchos insectos, pájaros y plantas pueden encontrar refugio en estos espacios recuperados para la naturaleza.

- Los nuevos hábitats integrados en los edificios sirven para crear conexiones de la fauna entre la ciudad y el bosque más próximo, y facilitar el movimiento y la dispersión de la vida silvestre.



6. Potenciación de la agricultura urbana.

Las coberturas vegetales en cubiertas se pueden utilizar como espacios para la producción de alimentos para la distribución local y complementar la cocina de un restaurante o, incluso, para la venta a escala comercial.

- La agricultura urbana permite maximizar la producción de hortalizas y frutas frescas en espacios hasta ahora infrautilizados en las ciudades.
- Ayuda a disminuir la huella ecológica y reducir la pobreza (generando recursos y empleo).
- Permite reducir la distancia entre productores y consumidores bajando los precios de transporte y solucionando problemas de desabastecimiento.

Fuente: *Illustraciones adaptadas de Contreras et al., 2015.*

SIÓN BORRADOR

5.1.

Clasificación de las coberturas vegetales

VERSIÓN BORRADOR

CV.1. Materas Autónomas

**Aplicable a los criterios CV.1.1. y CV.1.2. del Sello SCCS*

Las materas autónomas son una forma de implementar vegetación en diferentes áreas de una edificación mejorando su respuesta al entorno. Se clasifican según las diferentes ventajas que ofrece su vegetación y profundidad de sustrato en: Materas con vegetación herbácea perenne y materas con arborización.

Las materas con herbáceas perennes nativas son contenedores de sustrato con vegetación no leñosa, separados de la estructura y el cerramiento de la edificación, independientes de los sistemas hidrosanitario y eléctrico. Son mobiliarios que permiten transportarse de un lugar a otro. Hacen parte de la carga viva del proyecto.

Las materas con arborización nativa son grandes contenedores de sustrato con vegetación leñosa, separados de la estructura y el cerramiento de la edificación, independientes de los sistemas hidrosanitario y eléctrico. Son mobiliarios que permiten transportarse de un lugar a otro. Hacen parte de la carga viva del proyecto.

CV.2. Cubiertas Transitables

**Aplicable a los criterios CV.2.1. y CV.2.2. del Sello SCCS*

Son cubiertas peatonales o vehiculares (figura 1) elaboradas con materiales articulados sobre losas de la edificación. Aunque carecen de vegetación conservan el impacto social y ambiental en su forma de construcción aportando al ciclo de vida del edificio.

Las cubiertas adoquinadas transitadas para peatones y bici usuarios se utilizan sobre losas de concreto en garajes subterráneos, zonas comunitarias, losas de cubierta e incluso túneles. Los sistemas de soporte de estas cubiertas permiten a los adoquines o tabletas trabajar tectónicamente de forma articulada mientras conviven con la vegetación y otros elementos del espacio común edificado. Bajo los adoquines y la subbase, el sistema lo conforman una lámina de drenaje, un manto de retención y difusión de agua y una barrera anti-raíces.

Los sistemas para cubiertas transitables sobre revestimiento adoquinado para vehículos son livianos, pueden soportar cargas pesadas y se pueden combinar con casi cualquier otro sistema de cubierta vegetada. Se utilizan sobre losas de concreto que cubren estacionamientos trabajando de forma articulada con bordillos y sardineles. Bajo los adoquines y la subbase, el sistema lo conforman una lámina de drenaje maciza, un manto de retención y protección y una barrera anti raíces y difusora de cargas.

BORRADOR



Figura 1. *Cubierta transitable peatonal.*
Fuente: *Walkways on Rooftops | ZinCo Green Roof Systems, s. f.-a*

CV.3. Cubiertas Vegetadas según su tipo

La figura 2 ilustra el funcionamiento básico de una cubierta vegetada que, en términos generales, trata de imitar la composición edáfica de un suelo.

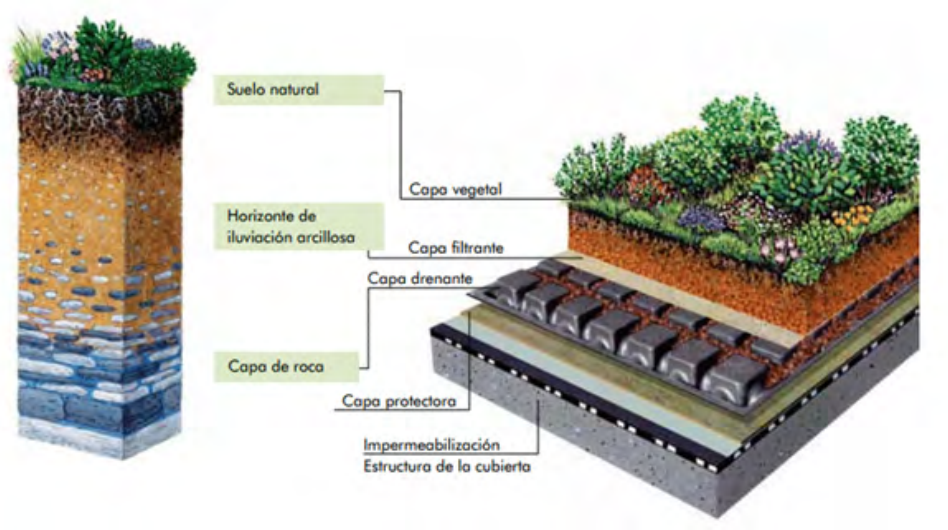


Figura 2. *Funcionamiento básico de una cubierta vegetada.*
Fuente: *ZinCo green roof systems | ZinCo Green Roof Systems, s. f.*

CUBIERTAS TRANSITABLES	**EN ADOQUIN**	CV.	3	PEATONAL
		CV.	4	VEHICULAR
CUBIERTAS VEGETADAS	**EXTENSIVAS INCLINADAS**	CV.	5	10 - 25 GRADOS
		CV.	6	25 - 45 GRADOS
	EXTENSIVAS PLANAS	CV.	7	LAMINARES SIN RIEGO - SEDUM
		CV.	8	LAMINARES CON RIEGO - COBERTURAS BAJO IMPACTO
		CV.	9	LAMINARES CON COBERTURA Y HERBACEAS PERENES
	INTENSIVAS	CV.	10	LAMINARES CON HERBACEAS Y ARBUSTOS PERENES
		CV.	11	LAMINARES CON ARBORIZACIÓN
	DE ALTO IMPACTO AMBIENTAL	CV.	12	REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS
		CV.	13	REGULADORA DE CLIMA URBANO
		CV.	14	PARA ENERGIA SOLAR
		CV.	15	BIODIVERSA
		CV.	16	PARA AGRICULTURA URBANA

Tabla 1. *Clasificación de las cubiertas transitables y vegetadas.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CV.3.1. Extensivas Inclinadas

Aplicable al criterio CV.3.1. del Sello SCCS

Son cubiertas ajardinadas de bajo mantenimiento con inclinación. En esta categoría se encuentran dos tipos de sistema que responden a las condiciones de pendiente, así: Cubiertas entre 10° y 25° y cubiertas entre 25° y 45° (figura 3).

La estructura de las capas tiene que adaptarse a las condiciones alteradas, para este fin se usan elementos que soportan las fuerzas de empuje, además una manta con mayor retención de agua, y un tejido de yute que protege contra la erosión.



Figura 3. *Cubiertas extensivas planas e inclinadas.*
Fuente: *Extensive Green Roof Sedum Carpet | ZinCo Green Roof Systems, s. f.*

VERSIÓN BORRADOR

CV.3.2. Extensivas Planas

Aplicable al criterio CV.3.2. del Sello SCCS

Son cubiertas vegetadas (figura 4) que utilizan entre 5 y 20 cm de sustrato para albergar principalmente especies vegetales pequeñas como coberturas, herbáceas, bulbos, entre otras, las cuales tienen bajos requerimientos hídricos adicionales a la lluvia y el mantenimiento.

Estas cubiertas pueden ser planas o inclinadas.



Figura 4. *Cubiertas extensivas planas con sedum.*
Fuente: *Extensive Green Roof Sedum Carpet | ZinCo Green Roof Systems, s. f.*

CV.3.3. Intensivas Laminares

Son cubiertas vegetadas que utilizan 20 cm o más de sustrato para albergar principalmente especies vegetales de gran tamaño como árboles, arbustos, herbáceas grandes entre otras, las cuales tienen mayores requerimientos hídricos y de mantenimiento, similar a los de áreas verdes sobre terreno natural.

Estas cubiertas pueden considerar equipamiento arquitectónico tales como mobiliario urbano, circulaciones, piletas, áreas de permanencia, elementos ornamentales.

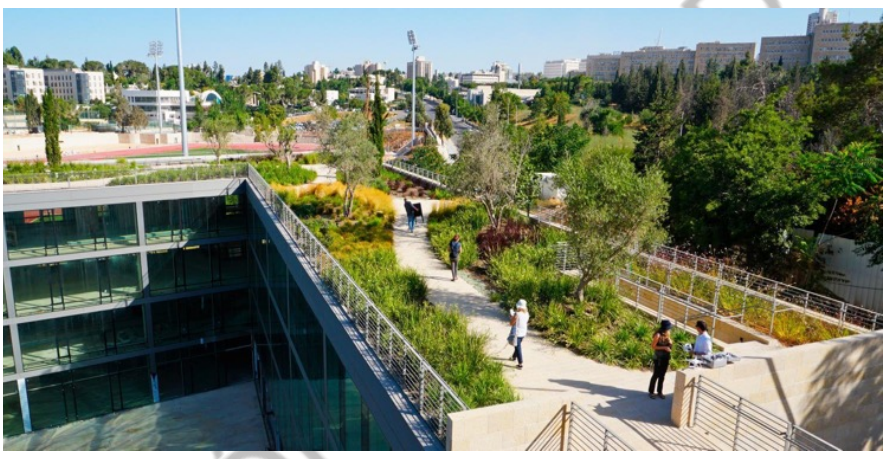


Figura 5. *Cubierta intensiva con arborización. National Campus for the Archeology of Israel.*
Fuente: *Shlomo Aronson Architects Ltd. (National Campus for the Archaeology of Israel, Jerusalem | ZinCo Green Roof Systems, s. f.)*



Figura 6. *Cubierta intensiva con mobiliario urbano. High Line Park, New York City.*
Fuente: *High Line Park, New York City | ZinCo Green Roof Systems, s. f.*

CV.4. Cubiertas Vegetadas de Alto Impacto Ambiental

Son cubiertas híbridas que adicionan a los tipos de cubiertas extensivas e intensivas, sistemas adicionales para la regulación de agua lluvia de gran volumen (techos azules), sistemas de captación y reúso de agua lluvia, equipamiento de agricultura urbana, sistemas de integración con elementos generadores de energía fotovoltaica, integración de elementos naturales para la generación de hábitat tales como incorporación de madera seca, bancales, dunas , areneros, superficies temporales de agua, espacios de anidación y otros que permitan mejorar las prestaciones y por tanto los beneficios de la cubiertas vegetadas se podrán adicionar a cualquier tipo de cubierta.

CV.4.1. Reguladora de aguas lluvia

Aplicable al criterio CV.4.1. del Sello SCCS

También llamados techos azules, pueden proporcionar una serie de beneficios según el diseño. Estos beneficios incluyen el almacenamiento temporal de agua de lluvia para mitigar los impactos de la escorrentía, el almacenamiento para su reutilización, como reposición de agua de riego o refrigeración, u oportunidades recreativas. Se pueden clasificar como "activos" o "pasivos" según los tipos de dispositivos de control utilizados para regular el drenaje del agua desde el techo.

Con un sistema regulador de cargas pluviales se puede retener hasta 80 l/m² de agua de lluvia y, posteriormente, liberarla al sistema de alcantarillado durante un período predefinido (entre las 24 horas y unos pocos días).

El almacenamiento del agua de lluvia se produce dentro de módulos reticulados y es controlado por las válvulas reguladores de cargas pluviales, ambos situados debajo del sistema de la cubierta verde. Mientras tanto, las condiciones que son de vital importancia para el buen funcionamiento de la cubierta verde (almacenamiento de agua para las plantas, el equilibrio agua/aire en la zona de las raíces, etc.) continúan siendo preservadas.



Figura 7. *Construcción de cubierta reguladoras de aguas de lluvia.*
Fuente: *The latest press releases | ZinCo Green Roof Systems, s. f.*

VERSIÓN BORRADOR

CV.4.2. Reguladora de clima urbano

Aplicable al criterio CV.4.2. del Sello SCCS

Es una cubierta vegetada que consigue garantizar una elevada evapotranspiración, especialmente en períodos secos y calurosos. Todo ello gracias al sistema de riego incorporado y a la elección de la adecuada vegetación. Un aumento de la evapotranspiración contribuye siempre a refrescar la temperatura ambiente en las ciudades. Los sistemas de riego utilizados para este tipo de cubiertas permiten el re-uso de aguas de lluvia, el uso de aguas grises previo tratamiento y agua del nivel freático si su calidad y valor de extracción lo permiten.



Figura 8. *Cubierta Vegetada para climatización urbana.*
Fuente: *Cubierta verde 4.0 | Sistemas para cubiertas verdes | ZinCo Green Roof, s. f.*

CV.4.3. Para Energía Solar

Aplicable al criterio CV.4.3. del Sello SCCS

En muchos países ya es obligatoria la convivencia de paneles solares junto con cubiertas vegetadas, esto se debe a que la reducción de la temperatura de la cubierta verde mejora el rendimiento de las placas solares. La temperatura ambiental de los materiales de colectores solares influye sobre el rendimiento de las células solares. A medida que aumenta la temperatura del material, disminuye el rendimiento. Las cubiertas vegetales reducen comprobadamente la temperatura ambiental y con ello baja la temperatura superficial de los paneles optimizando su rendimiento.

VERSIÓN BORRADOR



Figura 9. *Cubierta con paneles solares.*
Fuente: *Green Roof & Solar System | ZinCo Canada, s. f.*

VERSIÓN BO

CV.4.4. Biodiversa

Aplicable al criterio CV.4.4. del Sello SCCS

En áreas donde la naturaleza ha sido sustituida por obras de construcción o el suelo natural ha sido sellado, las cubiertas vegetadas se convierten en una alternativa válida para compensar la pérdida de superficies verdes y crear hábitats de sustitución para flora y fauna (figura 10).

Las cubiertas vegetadas naturales, con poco mantenimiento, se convierten en refugios para especies animales y vegetales; en ellas encuentran alimento y refugio abejas silvestres, mariposas, escarabajos y aves entre otros.

CV.4.5. Para Agricultura Urbana

Aplicable al criterio CV.4.5. del Sello SCCS

Las cubiertas vegetadas para agricultura urbana generan grandes beneficios ecológicos debido a la proximidad de los consumidores a las áreas de producción agrícola, aporta a la seguridad alimentaria de las comunidades, minimiza las emisiones del transporte, optimiza el tiempo de recorridos a las áreas rurales y brinda acceso a productos más frescos (figura 11).



Figura 10. *Estrategias de diseño de hábitats en una cubierta biodiversa.*
Fuente: *Cubierta verde 4.0 | Sistemas para cubiertas verdes | ZinCo Green Roof, s. f.*



Figura 11. *Cubierta huerta urbana.*
Fuente: *Le Cordon Bleu, Paris | ZinCo Green Roof Systems, s. f.*

CV.5. Jardines Verticales

Los Jardines Verticales se clasifican en tres categorías dependiendo de sus sistemas constructivos, tipo de vegetación, requerimientos de irrigación y mantenimiento, entre otros, así:

JARDINES VERTICALES	CON ENREDADERAS	CV.	17	SOBRE MUROS
		CV.	18	SOBRE REJAS Y ESTRUCTURAS METÁLICAS
		CV.	19	SOBRE GUAYAS Y MALLAS
	EN CONTENEDORES	CV.	20	CON MATERAS INDIVIDUALES
		CV.	21	CON MÓDULOS DE PLÁSTICO O METAL
	HIDROPÓNICOS	CV.	22	CON TUBOS
		CV.	23	CON MANTAS Y TEXTILES
	CON SUSTRATO	CV.	24	CON MÓDULOS FLEXIBLES
		CV.	25	CON MÓDULOS RIGIDOS
	DE ALTO IMPACTO AMBIENTAL	CV.	26	BIODIVERSA
		CV.	27	BIOFILTRANTE
		CV.	28	PARA AGRICULTURA URBANA

Tabla 2. *Clasificación de los Jardines verticales.*
Fuente: *elaboración propia, 2022.*

CV.5.1. Jardines Verticales con enredaderas y contenedores

Aplicable al criterio CV.5.1. del Sello SCCS

Enredaderas sobre muros

Las fachadas con enredaderas de tallo grueso son un tipo de sistema en el que plantas trepadoras o en cascada están plantadas para cubrir muros o estructuras de soporte especialmente diseñadas.

Las plantas están sembradas en el suelo, en jardineras intermedias o en materas, las plantas suelen tardar entre 3 y 5 años en alcanzar una cobertura total, su estructura de raíz de ventosa les permite adherirse directamente a una pared, cubriendo toda la superficie. Por sus condiciones evolutivas, estas plantas son muy agresivas y pueden dañar las paredes erosionando la superficie y causando humedades. En el momento del mantenimiento o reparación debe hacerse la remoción total de estas plantas.

VERSIÓN BORR



Figura 12. *Enredadera se adhiere a un edificio usando ventosas adhesivas agresivas o raíces trepadoras que pueden dañar las superficies y entrar en huecos y grietas.*
Fuente: *greenscreen® - an innovative and unique modular trellising system, s. f.*

Enredaderas sobre rejas y estructuras

El componente básico de este sistema modular es un panel tridimensional rígido y ligero hecho de un alambre de acero soldado y galvanizado con recubrimiento en polvo que soporta plantas con tanto una rejilla frontal como una profundidad de panel. Este sistema está diseñado para mantener una fachada verde en exteriores y la superficie de la pared para que los materiales vegetales no se adhieran al edificio deberá proporcionar múltiples soportes para los zarcillos de las plantas garantizando la integridad de la impermeabilización del edificio.

Los paneles se pueden apilar y unir para cubrir grandes áreas, deberán estar hechos de acero de contenido reciclado y deberán ser reciclables.



Figura 13. *Montaje y pared final con sistemas de paneles enrejados.*
Fuente: *Green Roofs for Healthy Cities, s. f.)*

Enredaderas sobre guayas y mallas

Los sistemas de guayas y mallas permiten soportar plantas de crecimiento más lento que necesitan el apoyo adicional en intervalos más cercanos. Son sistemas flexibles y proporcionan un alto grado de adaptación a formas y pendientes. Ambos sistemas utilizan cables de acero de alta resistencia, anclajes y equipo complementario.

Generalmente, los cables horizontales están conectados a través de abrazaderas transversales



Figura 14. *Cierre del sistema de cables mostrando el conector de abrazadera cruzada.*
Fuente: *Jakob Rope Systems: Jakob Rope Systems, s. f.)*

VERSIÓN BORRADOR

CV.5.2. Jardines Verticales en Contenedores

Aplicable al criterio CV.5.2. del Sello SCCS

Están conformados por múltiples contenedores independientes de diferentes tipos de plástico, metal o cerámica. El sistema ofrece una cobertura parcial y en la mayoría de los sistemas se requiere una subestructura adicional. El riego generalmente se debe realizar de forma individual aumentando el consumo de agua.



Figura 15. *Izquierda: sistema Maze TRI Large Vertical Garden con 9 materas. Derecha: sistema sin riego con materas cerámicas.*
Fuente: *Costco.com.au y pinterest.com*

VERSIÓN BORRADOR

CV.5.3. Jardines Verticales Hidropónicos con tubos

Aplicable al criterio CV.5.3. del Sello SCCS

Son sistemas que utilizan tubos, canales de PVC, fibra de vidrio o polietileno.

Se instalan montados sobre estructuras metálicas la mayoría de las veces independiente de la estructura principal de la edificación. Usualmente se posicionan de forma horizontal a manera de cascada garantizando la circulación del agua de forma continua. Los sistemas hidropónico permiten cultivar las plantas sin necesidad de suelo natural, las raíces reciben la solución nutritiva disuelta en agua así como fertilizantes y químicos que permiten su óptimo desarrollo.

CV.5.4. Jardines Verticales Hidropónicos con mantas y textiles

Aplicable al criterio CV.5.4. del Sello SCCS

Son sistemas que utilizan mantas de fieltro resistente a la humedad para soportar las raíces de las plantas simulando un sustrato artificial. El filtro garantiza la correcta distribución del agua y de los nutrientes químicos por gravedad.

Estas mantas no biodegradables se adhieren usualmente con grapas y tornillos de acero inoxidable a láminas de PVC, que a su vez son adheridas a una su estructura montada sobre el muro de soporte. Todos los materiales de este sistema soportan la corrupción producida por los sales y nutrientes que requieren las plantas de este tipo de jardines verticales.

Un programador de riego, un inyector de abono, un depósito para la solución hidropónica, filtros de riego y de aireación de la solución hidropónica, sondas de control del pH y sondas de control de la conductividad.

BORRADOR



Figura 16. *Izquierda: esquina Oasis d' Aboukir, Paris. Patrick Blanc. Derecha: tubos hidropónicos en fachada del Pabellón de USA, Expo Milán 2015.*
Fuente: *Claudia Lorusso.*

CV.5.5. Jardines Verticales con Sustrato

Aplicable al criterio CV.5.5. del Sello SCCS

Son jardines verticales cuyos sistemas son patentados, instalados y mantenidos como un paquete. Una mezcla de capas textiles flexibles o en paneles, disponen de bolsillos o comederos que contienen sustratos enriquecidos naturales y que sostienen las plantas. Generalmente se riegan con el uso de bombas simples que se activan con temporizadores automatizados o cuando los sensores detectan niveles de humedad por debajo de cierto umbral optimizando el uso del agua.

Los textiles abiertos permiten la interconexión de raíces aéreas comunicando las plantas entre sí y los microorganismos del suelo que, de forma incremental, protegen las plantas evitando la dependencia de abonos y fungicidas contaminantes.

Los Sistemas Flexibles permiten adaptarse a formas circulares como muros curvos o columnas y realizar falsos taludes. Los sistemas modulares, permiten sembrar fuera de la obra evitando el daño de las plantas durante su instalación, se pueden transportar, inspeccionar y reinstalar en otros proyectos gracias a su bajo peso.



Figura 17. *Jardín Vertical con sustrato en fachada.*
Fuente: *Dosmundos - Productos vivos, s. f.*

CV.5.6. Jardines Verticales de Gran Aporte Ambiental

Aplicable al criterio CV.5.6. del Sello SCCS

Protector de Fauna Silvestre

Son sistemas probados y estandarizados que utilizan sustratos y vegetación nativa o adaptada generando una diversa asociación vegetal que protege las especies botánicas y a su vez fomenta la diversidad en los microorganismos del suelo, los insectos benéficos, polinizadores, reptiles y avifauna. Se caracterizan su autoprotección de plagas y por reducir la necesidad de mantenimiento y riego a lo largo de su desarrollo.



Figura 18. *Izquerda: hospederos para la AviFauna. Derecha: Nido en Jardín vertical de helechos.*
Fuente: *Living Wall & Green Roof Design Specialists | ANS Global. s. f.*

Bio Filtrantes

Algunos de los jardines verticales actuales incorporan funciones como la Biofiltración del aire del entorno usando una selección de especies cuya principal característica es utilizar partículas pesadas del aire en su proceso bioquímico natural. También es posible incentivar la Biofiltración mediante el uso de ventiladores mecánicos en espacios interiores; la inyección de aire activa desde la parte superior del muro garantiza una mejor circulación de aire a los microbios que viven en las raíces de las plantas devolviendo el aire purificado al espacio circundante.

VERIFICADOR





Figura 19. *Izquerda: Jardín Vertical Purificador de aire con plantas. Derecha: Sistema de Jardín Bio Filtrante.*
Fuente: *Dosmundos – Productos vivos, s. f. / Naava | Not a normal green wall, s. f.*

VERSIÓN BO

Agricultura Urbana

Es posible aportar a la seguridad alimentaria mediante la implementación de huertas urbanas verticales. Este método de horticultura busca maximizar la utilización del espacio de producción al incrementar la superficie del área de cultivo lo que permite producir más plantas en el mismo espacio. Se utilizan tres tipos de sistemas principales: Hidroponía, acuaponía y sistemas con sustrato.

Las plantas, en una operación de agricultura vertical con hidroponía son suministradas con una solución acuosa compuesta con la cantidad adecuada de elementos esenciales necesarios para su crecimiento óptimo.

En la agricultura vertical acuapónica, la producción de peces se integra a la producción de plantas utilizando diseños de sistemas hidropónicos. Sin embargo, en vez de fertilizar las plantas con una solución nutritiva con cantidades de nutrientes adecuados, las plantas de manera alternativa son fertilizadas con agua filtrada enriquecida con excremento de los peces, convertida a nitratos y suplementada con la cantidad de nutrientes necesarios para elevarlos a una concentración adecuada. En la agricultura vertical con sustratos, las plantas son producidas en sustratos (ej. a base de turba, lana de roca, coco, perlita, etc.) y suplementadas con solución nutritiva. *(Centro de formación | PRO-MIX, s. f.)*

5.2.

Requisitos de diseño y construcción

VERSIÓN BORRADOR

Planificación

Las características del edificio y las superficies de la cubierta o muros a vegetar, se determinará y evaluará en términos de construcción e ingeniería de vegetación durante la planificación. Esto puede resultar en requisitos especiales adicionales para la construcción del edificio, la cubierta vegetada y el jardín vertical, así como la posible limitación de ciertos tipos de vegetación.

Al planificar la construcción de una cubierta vegetada o jardín vertical, se deben tener en cuenta los requisitos de construcción especificados por los ingenieros de construcción, esto se aplica en particular a la construcción de la cubierta y muros que soportarán los sistemas vegetados, así como la capa de impermeabilización y cualquier otra protección que fuese necesaria. El punto de transición de la planificación de ingeniería estructural a la planificación sostenible de los sistemas vegetados debe determinarse en una etapa temprana del diseño arquitectónico y paisajístico, iniciando en la correcta definición de las capas protectoras.

El límite de ejecución contractual de la implementación entre la impermeabilización y la cubierta vegetada deberá determinarse durante la fase de planificación y definirse claramente en las especificaciones constructivas de todos los diseños profesionales y técnicos implicados.

Emplazamiento y condiciones geográficas

En el diseño de un proyecto de cobertura vegetal sobre la edificación deberá considerar la ubicación geográfica y el clima del lugar en donde se emplazará, así como el microclima que se puede formar por la relación con las demás edificaciones vecinas y con el diseño urbano a una escala mayor.

Resistencia al viento

En el diseño de un proyecto de cobertura vegetal se debe considerar la resistencia al viento. El potencial de daño por viento variará dependiendo de la altura donde se ubicará la cobertura vegetal, la geometría del edificio, la ubicación geográfica y la topografía local. La probabilidad de daño por viento es mayor con vientos fuertes que aparecen inmediatamente después de la instalación y disminuye a medida que la cubierta vegetada o el jardín vertical madura y logra mayor cobertura vegetal. Se recomienda realizar un estudio técnico de los vientos potenciales en la zona de instalación.

Cargas Estructurales y de elementos de seguridad.

La implementación de materiales y elementos asociados a un proyecto de coberturas vegetales incrementan las cargas en diversos aspectos de acuerdo a la cantidad, composición y espesor de las capas del sistema.

El cálculo de las cargas totales de un proyecto de coberturas vegetadas debe considerar: el peso propio de los componentes del sistema; los sustratos y drenajes a su máxima capacidad de retención de agua; las plantas en estado adulto; el peso de cargas puntuales que conformen el sistema (por ejemplo, piletas de agua o captadores de aguas lluvia, árboles de gran tamaño, elementos decorativos y mobiliario, entre otros); las cargas de viento.

Además, se debe considerar el peso de transeúntes y el del personal de mantención del proyecto, de acuerdo con la legislación vigente. Si se trata de coberturas vegetadas habitables, se debe calcular la carga de ocupación en su máxima capacidad. El uso previsto se debe comunicar a un ingeniero estructural para definir mediante fichas técnicas y casos de estudio previos, las cargas vivas en el las cargas vivas en función de las categorías de uso.

VERSIÓN BORRADOR

Cuando las cubiertas tengan fines recreativos, se requieren barandas perimetrales para proteger a los usuarios contra caídas siguiendo las normas vigentes de seguridad humana en los edificios. Las medidas de prevención de accidentes de salud y seguridad deben tenerse en cuenta durante las etapas de planificación y licitación del edificio. Esto se aplica especialmente a la prevención de caídas durante la ejecución, el mantenimiento y el servicio de los edificios. (FLL, 2008)

Pendiente

En el diseño de un proyecto de coberturas vegetadas se debe tener en cuenta la pendiente de la cubierta (en grados o porcentajes) en referencia a los requisitos estructurales y de la vegetación del proyecto, así:

Para cubiertas vegetadas extensivas y cubiertas vegetadas intensivas simples, se debe planificar una pendiente de al menos 2%. Un drenaje controlado satisface las necesidades básicas de una extensa vegetación. Los techos planos y las subáreas como aleros y valles sin, o con muy poca formación de caída (<2%) pueden tener una acumulación no intencional de agua en áreas enteras o parciales, lo que puede ser problemático para un cubierta ajardinada extensiva.

En esta situación, se pueden esperar fallas en las plantas y la reestructuración de la vegetación, así como un mayor asentamiento de la vegetación no nativa (por ejemplo, plántulas leñosas).

La efectividad de capas más gruesas o capas de drenaje adicionales en agua estancada es limitada. Como resultado, los efectos del anegamiento y el aumento del suministro de agua en el desarrollo de la vegetación no pueden verse influenciados tanto como podrían estarlo en una cubierta vegetada con suficiente pendiente.

Las áreas con agua estancada y el nivel de agua esperado se deberán determinar antes de la construcción de las cubiertas vegetadas.

En el caso de cubiertas vegetadas intensivas con riego por estanque, como las cubiertas reguladoras de aguas pluviales, los morteros de pendientado deberán diseñarse sin gradiente o pendiente y el drenaje se deberá calcular por rebose de la película de agua.

En los casos que la pendiente es mayor, el agua corre más rápidamente. Una inclinación de de 5° (aproximadamente 8.8% de caída) deberá compensarse con una capa que permita mayor capacidad de almacenamiento de agua y menor capacidad de drenaje o con una forma de vegetación con menor requerimiento de agua. Con el aumento de la pendiente de la cubierta se deberán observar medidas especiales que eviten el desplazamiento del material.

Los techos con una inclinación de más de 45° no se deben recubrir debido a los problemas técnicos, estructurales y de vegetación asociados (FLL, 2008). En esos casos, las coberturas vegetales deberán hacerse con sistemas para jardines verticales inclinados que son seguros entre 45° y 90°.

VERSIÓN BORRADOR

Indicadores de las coberturas vegetales en el proyecto

El proyecto de cobertura vegetada debe considerar la entrega de una descripción escrita del proyecto al propietario, indicando la conformidad con las características de desempeño especificadas y la información sobre el objetivo de la implementación de la cobertura vegetada y los documentos del proyecto pertinentes.

Criterios y selección de especies

En el diseño de un proyecto de cobertura vegetal se deben considerar los siguientes aspectos y variables al momento de la selección de especies vegetales. En estos casos, los factores más relevantes para la selección y el desarrollo de la vegetación son:

1. Factores climáticos

Microclima local, pluviometría, exposición a luz solar, periodos de sequía y vientos dominantes, entre otros.

2. Factores estructurales y funcionales

Definición de asoleamiento por áreas, desviación de precipitaciones por la estructura, efectos de emisión de gases de los conductos del edificio, condiciones de circulación del viento, estrés debido a los reflejos de fachada (efecto lupa) y sombras generadas por construcciones aledañas, las pendientes de la superficie y laterales, cargas de agua de elementos contiguos, las cargas del diseño y los elementos que componen la cobertura vegetal, las instalaciones técnicas adicionales (por ejemplo, paneles solares, unidades de clima, antenas, otros), altura de muretes y contenedores para sostener todos los componentes del sistema de coberttura vegetal.

3. Profundidad del sustrato

La tabla 3 muestra el grosor mínimo de sustrato a partir del cual se puede plantar la vegetación planificada. Estos valores se aplican para precipitación media de 700 mm anuales o superiores. La capa de vegetación se debe incrementar si la precipitación es menor. Las secciones oscuras muestran un rango de valores adecuados para el grosor de la capa de vegetación.

VERSIÓN BORRADOR

ESPESOR DEL SUSTRATO (CM)			6	8	10	12	15	18	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	125	150	200
TIPO DE CUBIERTA VEGETADA	INCLINADAS EXTENSIVAS	CRASULÁCEAS	■	■																		
		CRASULÁCEAS HERBÁCEAS	■	■	■																	
		HERBÁCEAS PERENNES		■	■	■																
		GRAMINEAS			■	■	■															
		SILVESTRES				■	■	■	■	■												
	INTENSIVAS GRAN APORTE AMBIENTAL	GRAMINEAS HERBÁCEAS					■	■	■	■	■											
		SUB ARBUSTIVAS						■	■	■	■	■	■	■								
		HERBACEAS ARBUSTOS BAJOS								■	■	■	■	■	■							
		GRANDES ARBUSTOS ARBOLES PEQUEÑOS													■	■	■	■	■			
		ARBOLES MEDIANOS																■	■	■	■	
		ARBOLES GRANDES																		■	■	■

Tabla 3. *Referencia del tipo de vegetación según el espesor del sustrato.*
Fuente: *Adaptado de: NCh3626:2020* .

VERSIÓN BO

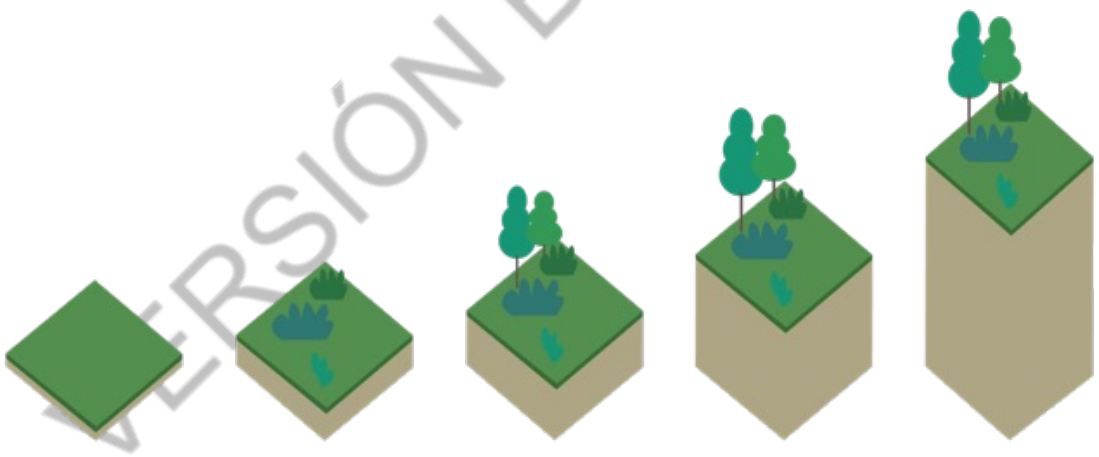


Figura 20. *Relación Vegetación vs. Tipo de Cubierta Vegetada.*
Fuente: *Ilustración adaptadas de Contreras et al., 2015.*

Formas de Vegetación

Cuando se usan plantas, la variedad de aspectos de diseño, ecológicos y funcionales abarca desde el uso de cultivos hortícolas para la plantación intensiva hasta el asentamiento de plantas silvestres en extensas áreas verdes que muestran características de biotopo y son similares a las comunidades de plantas naturales locales. La diferenciación de las formas de vegetación solo puede ser ejemplar dada la gran cantidad de posibilidades y se basa en los grupos de plantas formadoras de población.

La vegetación objetivo-deseada debe describirse claramente y especificarse en la lista de cantidades. Esto también se aplica a las medidas de mantenimiento y posibles cambios en términos de las condiciones del sitio. La vegetación invasiva de hierbas y musgos apropiada para el sitio es tolerable, siempre que no tengan un efecto represivo y no sean contrarios a las intenciones del diseño o los materiales de construcción del sistema. (FLL, 2008)

Vegetación en cubiertas extensivas

En el ajardinamiento extensivo, las siguientes asociaciones de formas principales de vegetación se pueden definir para la caracterización:

- Plantación de sedum solamente.
- Plantación sedum + herbácea.
- Plantación de hierbas + herbáceas + sedum.
- Plantación de hierbas + herbáceas.

Vegetación en cubiertas intensivas

El ajardinamiento intensivo incluye la variedad casi ilimitada de plantas y diseño disponible en la planificación de espacios abiertos, lo que permite cualquier forma de vegetación.

Pueden existir restricciones en el uso de árboles y arbustos grandes dependiendo del objeto. También pueden extenderse a especies de otros grupos de vegetación según las condiciones especiales del sitio. En el ajardinamiento intensivo simple, que también forma la transición de áreas verdes intensivas a extensas, se pueden definir las siguientes formas principales de vegetación para la caracterización:

- Plantación de herbácea + herbáceas.
- Plantación de arbustos perennes + plantas silvestres.
- Plantación de arbustos leñosos + plantación perenne.
- Plantación de plantas leñosas.

Las áreas de césped para juegos, deportes y fines lúdicos son una forma especial de ajardinamiento intensivo. Un prerrequisito para que el césped funcione adecuadamente es tener clara las condiciones de luz solar de cada parte de la cubierta tales como el reflejo de fachadas de vidrio, sombras de edificios vecinos o del propio; igualmente las condiciones de viento para evitar erosión y deshidratación y las condiciones de precipitación espaciales como aguas contaminadas o sombra de lluvia.

Debido al alto requerimiento de agua y la profundidad de la raíz comparativamente baja, se recomienda un sistema de riego permanentemente instalado para las áreas con césped. Los céspedes se cultivan intensamente, por lo tanto, la poda, el suministro de agua y nutrientes deben llevarse a cabo regularmente para mantener el césped a largo plazo. Poco mantenimiento puede conducir a una falla en el crecimiento o la muerte de la vegetación.

El uso de plantas con un fuerte crecimiento de rizomas debe ser examinado críticamente durante la planificación. En el caso de los tipos de caña de bambú correspondientes, se deben tomar precauciones de construcción más allá de la barrera de penetración de la raíz y se deben proporcionar medidas especiales de mantenimiento.

VERSIÓN BORRADOR

5.3.

Requisitos técnicos en la construcción

VERSIÓN BORRADOR

Impermeabilización

Se debe prestar especial atención en la elección, la instalación y la recepción del sistema de impermeabilización. Cualquier problema con esta capa afectará a todos los componentes de las coberturas vegetales, ya que hacer reparaciones en ésta, puede ser muy costosas y requerir la coordinación con los responsables de las otras capas del sistema, a diferencia de lo que sucedería con un sistema de cubierta tradicional.

Existen varias tecnologías que han permitido crear membranas y/o sistemas para la impermeabilización de cubiertas vegetadas.

El proyecto de impermeabilización debe definir el tipo de membrana o sistema para la impermeabilización considerando la compatibilidad con el tipo de vegetación y substrato, entre otros.

Los sistemas de impermeabilización, son también componentes de las coberturas vegetadas y sus requisitos técnicos deben cumplir con las normas vigentes y deben asegurar su resistencia a la penetración de las raíces.

El éxito de proyecto de impermeabilización está sujeto a la calidad del producto, a la calidad de la instalación del sistema y a la preparación de la superficie de instalación.

Cuando el proyecto contemple una cobertura vegetal intensiva, se debe evaluar la colocación de doble impermeabilización o bien reforzarla, debido a que la fuerza de las raíces de las plantas que podría llegar a dañar la impermeabilización.

Es muy importante que antes de impermeabilizar estén consideradas las pasadas para las tuberías del sistema de riego, los desagües y cualquier otro elemento, ya que hay que evitar intervenir la superficie impermeabilizada porque se pueden transformar en futuros puntos de filtración. La preparación, el estado de la superficie y otros relacionados con la impermeabilización, deberán ser revisados por una persona competente en el tema. (Chile, 2020)

Barreras Radiculares

Las barreras radiculares pueden ser membranas o revestimiento de superficie completa con sellado líquido adicionales a la impermeabilización.

Debido a su construcción, las losas y muros de hormigón impermeable y las secciones de metal soldado son resistentes a la penetración de la raíz. Las juntas de dilatación en techos de hormigón impermeable deben tratarse especialmente contra la penetración de la raíz.

Las barreras de penetración de raíces deberían ser capas continuas. Las uniones o traslapes entre las láminas adyacentes deberían proveer el mismo nivel de resistencia a la raíz.

Algunos sistemas de impermeabilización identificados por los proveedores como resistentes a las raíces o contra la penetración de éstas, se pueden instalar sin barreras de penetración de raíces suplementarias. (Chile, 2020)

Capa protectora y conductora

Las membranas impermeabilizantes o sistemas de impermeabilización requieren el uso de una capa de protección donde regularmente corre el agua de forma horizontal o inclinada en cubiertas vegetadas y de forma vertical en jardines verticales.

Esta capa cumple los siguientes dos objetivos:

1. Proteger la impermeabilización del tránsito de personas, traslado de equipos y de los otros elementos que se instalan sobre la cubierta durante la instalación de la misma, así como de actividades asociadas a los cuidados y la mantención a largo plazo.

2. Garantizar la conducción del agua drenada por la bandeja drenante de forma homogénea hacia los drenajes.

VERSIÓN BORRADOR

Algunas opciones que se utilizan para proteger la impermeabilización son:

- Una doble capa de impermeabilización de un material compatible química y mecánicamente con la impermeabilización base. Un mortero de protección o sobrelosa que sea resistente a los efectos químicos que genera la presencia de humedad y los componentes del sustrato o medio de crecimiento, una membrana granulada sintética o un geotextil no tejido de alta resistencia.

- Esteras o paneles protectores de construcción de granulado de goma deberán tener un espesor nominal de 6 mm.

- Geotextiles no tejidos elaborados con materiales reciclados deberán tener un espesor nominal de 5 mm mínimo.

Los materiales para capas protectoras y conductoras deben ser compatibles entre sí y con la impermeabilización estructural y deben ser resistentes a las tensiones mecánicas, térmicas y químicas que se les imponen; los materiales deben ser resistentes a la pudrición causada por las sustancias y microorganismos que se producen en la estructura de plantación durante la vida útil dada; las capas protectoras y conductoras no pueden verse afectadas por sustancias extrañas dañinas ni contener sustancias metálicas extrañas de la producción. (FLL, 2008)

Capa de drenaje

Esta capa del sistema cumple la función de drenar, ventilar y retener agua. Según la tipología de cubierta transitable, cubierta vegetal o jardín vertical que se construya, la capa tendrá características diferentes.

En cubiertas vegetadas, dependerá de la pendiente de la cubierta, del tipo de vegetación escogida y del uso que se dé a la misma, el tipo de lámina de drenaje variará en altura, capacidad drenante, capacidad de retención de agua y resistencia a la compresión. Las placas drenantes deben tener siempre aberturas para la ventilación y canales de evacuación de agua que aseguren que el agua sobrante no esté nunca en contacto permanente con el sustrato, y así mantienen la capacidad de ventilación necesaria para las raíces.

Deben utilizarse materiales específicos para cubiertas; no son aptos para estas funciones materiales diseñados para otros usos, como placas drenantes para muros. (Contreras et al., 2015)

La descarga de escorrentía es la forma en que se transporte de la escorrentía acumulada hacia fuera de la cubierta vegetal o jardin vertical. Incluye los vertederos, los drenajes de áreas, las canaletas y las tuberías asociadas.

Las salidas de drenaje se deberían ubicar para que permanezcan accesibles luego del crecimiento de la vegetación y estar protegidas para prevenir que el crecimiento vegetal limite su función.

VERSIÓN BORRADOR

La elección de la capa de drenaje es un factor importante que influencia el impacto de una cubierta vegetada al momento de reducir las tasas altas de escorrentía pluvial de los cubiertas vegetadas. Esto se debe a que la transmisividad hidráulica de la capa de drenaje esta correlacionada al tiempo de concentración para la función de escorrentía de la superficie. La eficacia de la capa de drenaje también se puede ver afectada por cuán rápido el sustrato superpuesto se secará durante las condiciones de sequía.

Existen dos tipos de capa de drenaje: granular y laminar compuesto. Las capas de drenaje granular petreo basaltico resultan ineficientes en cuanto a peso, agregando al edificio hasta 115 Kg/m² mas frente a las capas de drenaje compuestos. El precio instalado de una capa de drenaje granular es 25% mas alto que el drenaje laminar compuesto.

En cuanto al desempeño hidráulico, se ha simulado el comportamiento de diferentes regímenes de precipitación histórico (típicos e intensos) en Santiago de Cali. Para la "precipitación intensa", los coeficientes alcanzaron valores cercanos a 0.3 para todos los tipos de drenaje, excepto para el granular , que redujo su capacidad de almacenamiento de agua a casi cero (0.08). (Naranjo et al., 2020)

Algunas capas de drenaje incorporan cavidades de depósitos en las que las superficies superiores de éstas se llenan con agua, para mejorar el acceso de las raíces de las plantas al agua retenida y aumentar la capacidad de retención de agua de la capa. Otras capas de drenaje pueden incorporar geotextiles densos para propósitos de retención de humedad. (Chile, 2020)

Filtros

La capa filtrante tiene la misión de evitar el paso de las partículas finas del sustrato hacia la capa drenante. Para evitar la colmatación fácil y el colapso las capa drenante inferiores, se deberán usar geotextiles diseñados específicamente para cumplir esta función.

En la capa filtrante son especialmente relevantes las características de la permeabilidad y el tamaño de los poros.

Las propiedades funcionales para las capas de filtro son:

1. **Resistencia al estallido:** considera que el sustrato pueda romper el filtro con su propio peso.
2. **Resistencia a la tracción:** dependiendo de la aplicación, las capas de filtro pueden ser necesarias para resistir las fuerzas de tracción.
3. **Permitividad:** las capas de filtro deberían permitir un buen flujo de agua perpendicular al plano del filtro, al mismo tiempo que inhibe la migración de partículas del medio de suelo a la capa de drenaje.
4. **Resistencia química y microbiana:** las capas de filtro de geotextiles deberían tener una resistencia suficiente a los químicos cargados en el suelo o al crecimiento microbiano anticipado. (Chile, 2020)

VERSIÓN BORRADOR

Sustratos

El sustrato es un elemento indispensable para el buen desarrollo de la vegetación. Los sustratos para cubiertas vegetadas y jardines verticales son mezclas de tierras diseñadas específicamente, que cumplen con ciertos criterios de calidad que difieren del uso de suelos naturales y sustratos formulados para el uso en jardinería.

Es necesario que el sustrato cumpla los siguientes requisitos: permitir la función de drenaje y carga de diseño, considerar la disponibilidad regional de materiales y las demandas impuestas por el tipo de cobertura vegetal en cuanto a vegetación y mantención. Otros factores a considerar son:

1. **Compatibilidad ambiental:**
Los componentes utilizados no deben tener efectos contaminantes ya sea por lixiviación o por emisiones de gases. Se deben observar las normas locales sobre contaminación y compatibilidad ambiental. Al seleccionar los materiales, se debe tener en cuenta el reciclaje o su disposición final.

2. **Riesgo de fitotoxicidad:**
Los componentes utilizados no deben contener sustancias que dañen la vegetación. Si se sospecha de compuestos fitotóxicos (por ejemplo, pesticidas, trazas metálicas, urea y sales minerales, entre otros), se debe realizar un ensayo de germinación y/o un ensayo para detectar sustancias que dañen las plantas.

3. **Resistencia al fuego:**
El sustrato o medio de crecimiento debe ser resistente a la exposición al fuego desde el exterior debido a chispas voladoras y calor radiante. Esto impacta directamente en la elección de los componentes de la mezcla y en el espesor de diseño. (Chile, 2020)

Franjas Marginales

La franja marginal en los techos verdes generalmente está libre de vegetación, por ejemplo, grava, agregado o losas, y forma un espacio entre la transición y el área de vegetación. La franja marginal sirve para la inspección visual de la impermeabilización, el borde del techo y los elementos estructurales ascendentes.

La franja marginal se deberá diseñar como una franja de seguridad contra la succión del viento, por lo que el ancho, la carga del área, la protección contra el viento y la protección preventiva contra incendios se deben especificar durante la planificación.

Si se utilizan materiales a granel, deben consistir en tamaños de partícula de 16/22 a 16/32 a menos que se especifique lo contrario. Pueden tener partículas ≤ 8 mm como máximo 5% en masa, <0.063 mm como máximo 3% en masa.

En el caso de materiales a granel que consisten principalmente en partículas redondeadas, por ejemplo, grava de río, las proporciones de partículas agrietadas no representan un defecto. (FLL, 2008)

VERSIÓN BORRADOR

Prevención de Incendios

Las coberturas vegetales deberán diseñarse y construirse para proporcionar la resistencia necesaria a la propagación externa del fuego, bajo los siguientes preceptos:

- Aumentar el contenido no combustible del sustrato de cultivo.
- Disminuir el contenido orgánico del medio de cultivo.
- Evitar que el sistema se deshidrate.

Las cubiertas vegetadas extensivas generalmente no se riegan, por lo que el riesgo de incendio se mitiga especificando la construcción, los cortafuegos y reduciendo el contenido orgánico.

El código de techos verdes de GRO establece que la profundidad del sustrato debe ser superior a 30 mm y el contenido orgánico no debe exceder el 20%. También se recomiendan las plantas suculentas, ya que retienen agua dentro de su estructura y, por lo tanto, reducen el riesgo de que el sustrato se seque.

La guía de ANSI también se refiere a los sistemas vegetativos resistentes al fuego como sistemas "basados en plantas suculentas" y "basados en pasto" cuyos sustratos de cultivo deben contener al menos un 80% de materia inorgánica.

La hoja de datos de FM 1-35 no especifica ningún límite sobre el contenido orgánico de los sustratos de cultivo, pero recomienda que las plantaciones se limiten de modo que la altura de la vegetación en plena madurez no supere los 0,9 m. También se debe evitar el uso de arbustos pirógenos, en su lugar se deben usar plantas resistentes al fuego, por ejemplo, aquellas con un alto contenido de humedad y bajo contenido de resina, como lo muestran las plantas con hojas flexibles y savia acuosa.

En lo que respecta a las coberturas vegetales intensivas, la guía FLL alemana y el código de techos verdes de GRO coinciden que una cobertura vegetal intensiva, de gruesa capa de sustrato y que se riegue adecuadamente, no tiene mayor riesgo de incendio que un acabado de techo convencional.

Varios documentos de orientación revisados se refieren a la provisión de zonas fronterizas sin vegetación o cortafuegos en áreas específicas, como alrededor de todas las aberturas en los techos, alrededor de los elementos verticales y a intervalos a lo largo de los techos para limitar el área del techo verde. Los cortafuegos consisten típicamente en franjas sin vegetación, hechas de balasto con un diámetro nominal de 20-50 mm, o adoquines de hormigón.

Se recomienda el uso de zonas fronterizas sin vegetación por las siguientes razones:

- Proporcionar acceso de mantenimiento, especialmente para techos verdes que consisten en vegetación que no está destinada a soportar el tráfico peatonal.
- Proporcionar resistencia a las presiones del viento y reducir la socavación de los medios de cultivo.
- Reducir la generación de escombros transportados por el viento en los perímetros de los techos.
- Proporcionar un cortafuegos en equipos, estructuras y penetraciones ubicadas en el techo.

Coinciden las directrices la FLL alemana y el código de techos verdes de GRO, que el requisito general es que se instalen cortafuegos de 500 mm de ancho alrededor de todas las aberturas del techo y los elementos verticales. Si las

VERSIÓN BORRADOR

paredes de los extremos, las paredes cortafuegos y las paredes de separación no se extienden por encima del sustrato, se considerará aceptable una pieza superior elaborada en material no combustible de 300 mm de altura o una tira hecha de losas de hormigón o grava. Al considerar los riesgos asociados con los techos y muros verdes, su uso podría afectar potencialmente a algunos de los requisitos funcionales de los edificios, sin embargo, al momento, no parece haber ningún problema significativo identificado con las cubiertas vegetadas ni con los jardines verticales en relación con los medios de evacuación.

Protección contra emisiones

Los sistemas de ventilación y aire acondicionado pueden causar escarcha y daños en las plantas debido a la fuga de aire frío y caliente y la aparición de corrientes de aire. Emisiones de humos también pueden causar daños directos a la vegetación, especialmente a plantas de hoja perenne. Por lo tanto, en el área de impacto del aire caliente, las corrientes de aire y los gases de escape, se debe tener especial cuidado para determinar qué vegetación es adecuada.

Protección contra la eflorescencia

El daño causado por la eflorescencia en las instalaciones de drenaje generalmente no se debe a la estructura de capas de las cubiertas vegetadas y jardines verticales. El uso de sustratos para la vegetación ricos en cal, combinando materia orgánica con restos de mortero de ladrillos reciclados, travertino, dolomita o compost calcáreo, no conduce a la eflorescencia en las instalaciones de drenaje. La causa del daño usualmente fue la disolución de carbonatos de capas protectoras de la impermeabilización hechas con hormigón o morteros de cemento magro de bordes, superficies y accesorios.

No se recomienda en absoluto la instalación de materiales a granel calcáreos, como el hormigón reciclado o agregado de tiza, en capas de drenaje, franjas marginales y de seguridad o por aspectos de diseño, que pueden conducir a la eflorescencia en las instalaciones de drenaje. Si se usan capas protectoras de hormigón o cemento, su superficie debe formarse o tratarse de manera tan densa que solo se puedan lixiviar pequeñas cantidades de carbonatos que no conduzcan a la eflorescencia.

Si la instalación regular de concreto, mortero de cemento o mortero no es posible en un objeto específico, la superficie debe protegerse del agua pintando o cubriendo o encerrándola con láminas para protegerla de la lixiviación de carbonatos. (FLL, 2008)

VERSIÓN BORRADOR

Agua y sistemas de riego

El desarrollo de la vegetación en las cubiertas vegetadas está significativamente influenciado y limitado por el suministro de agua. Si, por razones estructurales y restricciones económicas, los supuestos de carga y los espesores estructurales se mantienen lo más bajo posible, el espacio de almacenamiento de agua se reduce considerablemente.

Dependiendo de la construcción y disposición en las capas individuales, el almacenamiento de agua puede tener lugar en diferentes capas y de diferentes maneras. En el caso de las cubiertas vegetadas intensivas y de alto aporte ambiental, la combinación del almacenamiento de agua en el estrato vegetal con la acumulación de agua en la capa de drenaje es una forma conveniente de almacenamiento de agua.

El uso de agua de lluvia gratuita y de libre acceso constituye la base del suministro de agua a los techos verdes para minimizar la necesidad de riego adicional e introducir la lluvia directamente en el ciclo natural del agua.

En el Distrito de Santiago de Cali, se recomienda riego adicional regulado en las temporadas de sequía para todas las cubiertas vegetadas horizontales con excepción de las cubiertas sembradas con sedum y para todos los jardines verticales con un área mayor a 3m².

En cubiertas vegetales, el riego por estanque de agua se puede diseñar con un suministro de agua semi o totalmente automático. El agua de precipitación se almacena por acumulación en la capa de drenaje y su cantidad depende del tipo y grosor de la capa de drenaje. Para excluir el anegamiento del estrato de vegetación, se debe mantener una distancia mínima de 2 cm entre el nivel máximo de agua y la capa de filtro y, si es necesario, aumentar según los materiales. (FLL, 2008)

En los jardines verticales, el riego adicional se deberá realizar con líneas de goteo y con riego automático de estanque de agua, siempre de forma automatizada que permita el consciente manejo del recurso hídrico.

Materiales y compatibilidad ambiental

En concordancia con el capítulo 2 del tomo II, titulado Materiales Sustentables en el Sector de la Construcción del presente Manual, las sustancias y componentes de cualquier sistema de soporte de ajardinamiento deberán ser adecuados y coordinados entre sí y con las necesidades de la vegetación para el propósito respectivo, esto se aplica en particular a su compatibilidad química mutua. Los fabricantes de materiales deberán dar a conocer las restricciones de uso correspondientes.

En caso de incompatibilidad, se recomienda verificar la elección de los materiales o instalar una capa de separación adicional entre ellos para evitar relaciones contaminantes. Las sustancias y materiales utilizados que no estén debidamente respaldados por casos de estudio y experiencias a largo plazo podrían desencadenar contaminación por lixiviación, por escape de sustancias gaseosas o tener propiedades fitotóxicas. Al seleccionar materiales, se deberá tener en cuenta el reciclaje o la eliminación. Los sustratos para sistemas ajardinados deberán clasificarse como medios de cultivo teniendo en cuenta los valores límite de emisión y la declaración de los contenidos.

VERSIÓN BORRADOR

Mantenimiento

En relación con las operaciones de servicios de mantenimiento para el desarrollo y cuidado de las cubiertas vegetales y jardines verticales, se deben mantener las instalaciones técnicas, en particular, el funcionamiento de los desagües, canales y los equipos técnicos para el drenaje; la eliminación de suciedad y depósitos en goteros.

Así mismo, se deberá realizar en las actividades de remoción y limpieza mínimo una vez por semestre a las franjas marginales, las entradas y cierres, así como en los lechos de grava en las instalaciones técnicas.

Secciones tipo y composición técnica

Sección Tipo cubierta Transitable Peatonal

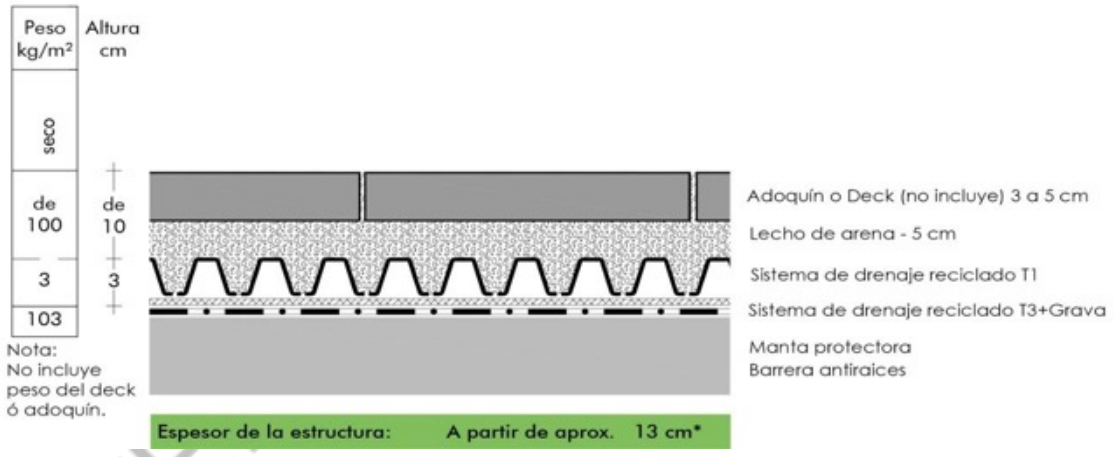


Figura 21. *Cubierta Transitable Peatonal*
Fuente: *Walkways on Rooftops | ZinCo Green Roof Systems, s. f.-b.*

VERIFICADOR

Sección Tipo cubierta Vegetada Extensiva laminar sin Riego

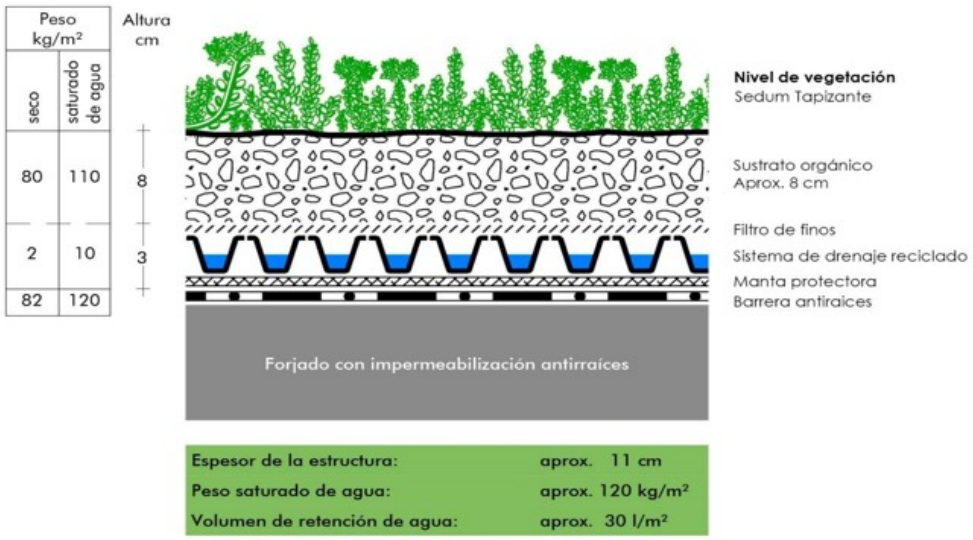


Figura 22. *Cubierta Vegetada Extensiva Laminar Sin Riego.*
Fuente: *Extensive Green Roof Sedum Carpet | ZinCo Green Roof Systems, s. f.*

Sección Tipo cubierta Vegetada Extensiva laminar con Riego

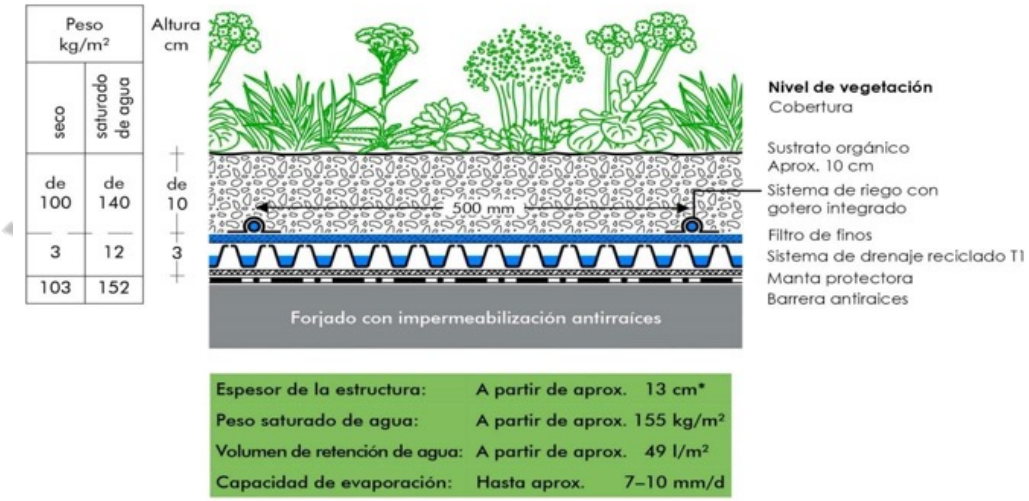


Figura 23. *Cubierta Vegetada Extensiva laminar con Riego.*
Fuente: *Irrigated Extensive Green Roof | ZinCo Green Roof Systems, s. f.*

Sección Tipo cubierta Vegetada Intensiva con Riego y Herbáceas

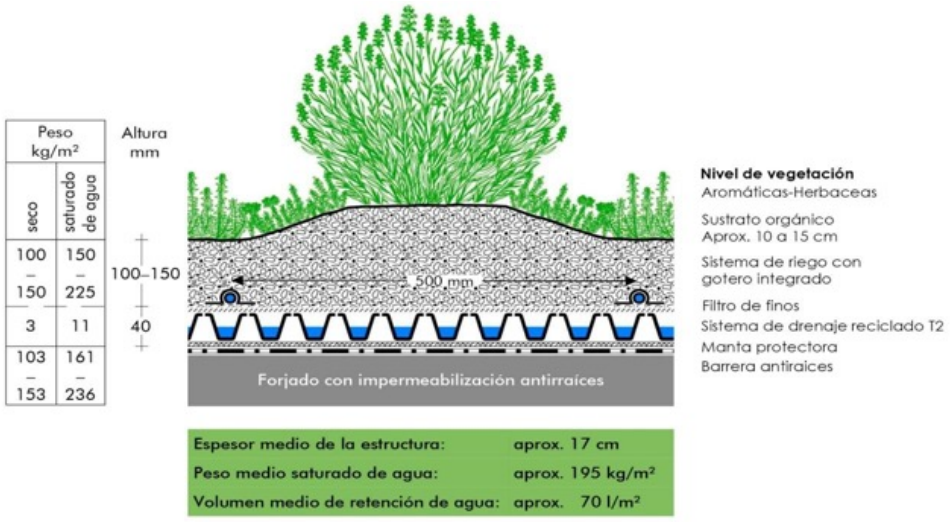


Figura 24. *Cubierta Vegetada Intensiva con Riego y Herbáceas*
Fuente: *Intensive Green Roof Heather with Lavender | ZinCo Green Roof Systems, s. f.*

Cubierta Vegetada Intensiva con Riego y Arborización

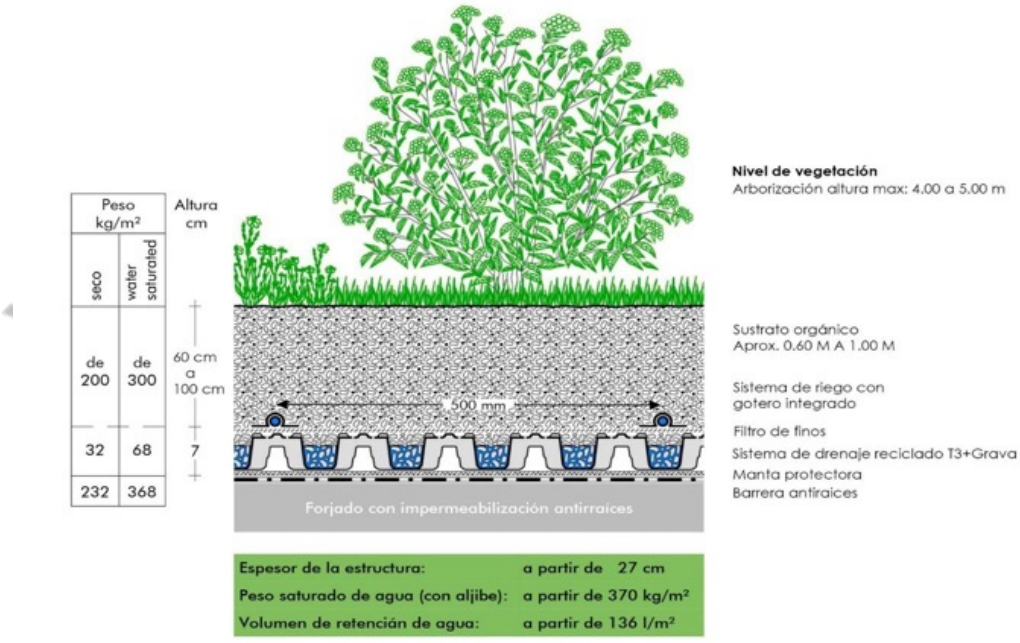


Figura 25. *Cubierta Vegetada Intensiva con Riego y Arborización.*
Fuente: *Roof Garden | ZinCo Green Roof Systems, s. f.*

Cubierta Vegetada de Gran Aporte Ambiental Biodiversa

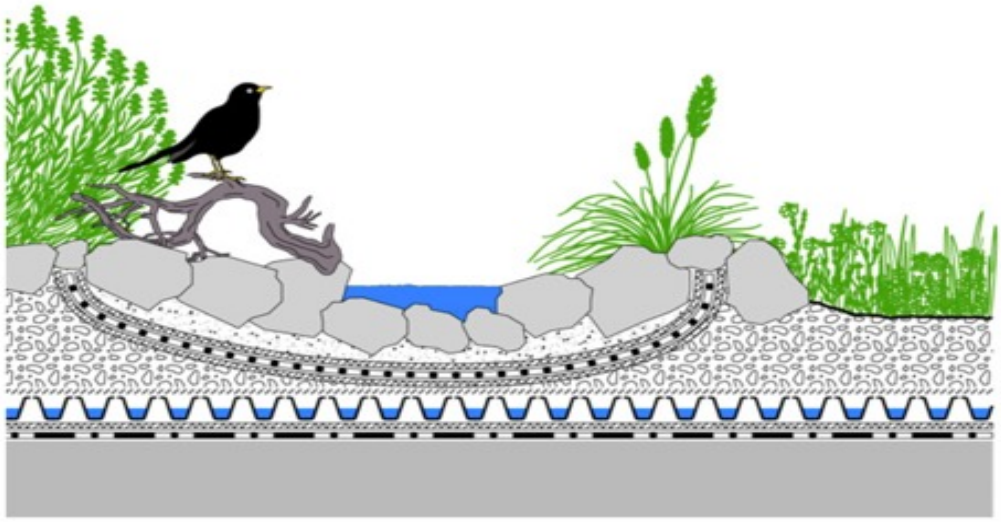


Figura26. *Cubierta Vegetada de Gran Aporte Ambiental Biodiversa.*
Fuente: *ZinCo Green Roofs | Biodiversity Roofs, s. f.*

Cubierta Vegetada de Gran Aporte Ambiental Reguladora de Cargas Pluviales

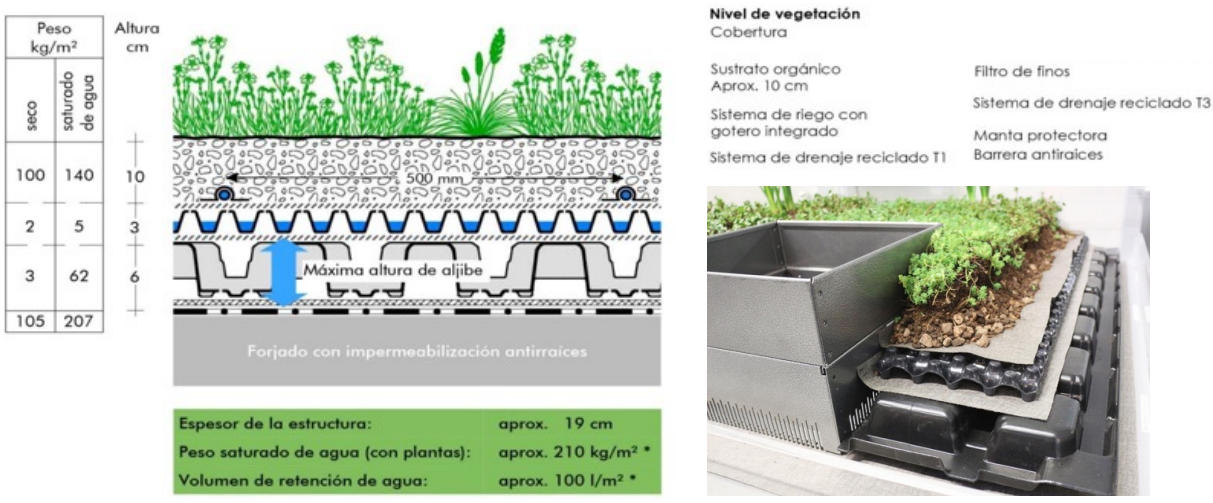


Figura27. *Cubierta Vegetada de Gran Aporte Ambiental Reguladora de Cargas Pluviales.*
Fuente: *Urban Climate Roof | ZinCo Green Roof Systems, s. f.*

5.4.

Beneficios ambientales

VERSIÓN BORRADOR

Calidad del aire

La contaminación del aire se puede dar tanto en exteriores (contaminación ambiental o atmosférica) como en ambientes interiores. Se entiende por contaminación atmosférica, a la presencia en el aire de materias o formas de energía que implican un riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza. (Martínez Ataz & Díaz de Mera Morales, 2004)

Los principales contaminantes primarios que se pueden encontrar tanto en interiores como exteriores, son:

1. Dióxido de azufre (SO^2)
2. Óxidos de Nitrógeno (óxido nitroso (N^2O), el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO^2). El óxido nitroso (N^2O) es un componente de la atmosfera no contaminada (alrededor de 0,3 ppm), y es producido por procesos microbiológicos. No influye en las reacciones químicas de la parte más baja de la atmosfera, pero puede contribuir al agotamiento de la capa de ozono.
3. El monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO^2).
4. Monóxido de carbono (CO).
5. Compuestos orgánicos volátiles (COV).
6. Metales pesados.

Ciertas plantas tienen la capacidad de absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, en el aire, en el agua o en el sedimento, tales como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. (López et al., 2011)

Los sistemas de coberturas vegetales para edificaciones, al estar formados por plantas, pueden tener estas capacidades manifestandose por diversas vías: absorbiendo los contaminantes

gracias al sustrato a través de las raíces de las plantas; mediante las complejas reacciones que se dan en la rizosfera entre las plantas, los microorganismos y los elementos del sustrato; absorbiendo contaminantes por vía aérea; o mediante la acción específica del sustrato.

Otra manera es reteniendo los contaminantes sobre las hojas. Un metro cuadrado de cubierta vegetada puede filtrar 0,2 kg de polvo en aerosol y material particulado en un año. Además, los nitratos y otros materiales peligrosos en el aire y la lluvia se depositan en el medio de cultivo. (Contreras et al., 2015)

En los jardines verticales Bio filtrantes, los microbios de la raíz eliminan del aire compuestos orgánicos volátiles (COV), mientras que el follaje absorbe monóxido de carbono.

Captura de Carbono

Las plantas, como organismos fotosintéticos, son capaces de sintetizar todas las sustancias esenciales para su metabolismo a partir de sustancias inorgánicas como el dióxido de carbono, utilizando la luz como fuente de energía. Este proceso transforma la energía luminosa en energía química. Esta energía sirve como fuente para todas las formas de vida.

De hecho, la energía de los combustibles fósiles es fruto de la biomasa producida hace millones de años. (Mann et al., 2005)

Es bien conocida la capacidad de los suelos de agricultura extensiva de capturar grandes cantidades de carbono, hay evidencia que algunas cantidades de carbono pueden almacenarse permanentemente en cubiertas vegetadas. En general, cuanto más profundo es el medio de cultivo mayor será el potencial de almacenar carbono.

Una cifra típica de carbono secuestrado por un cubierta vegetada extensiva con sustrato y vegetación perenne es de 375 g de carbono por metro cuadrado.

El efecto de captura de carbono mejora al añadir la biomasa de podas permanentes a la cubiertas vegetadas aumentando su tasa de crecimiento y por lo tanto su capacidad de captura de carbono.

Actualmente se está probando la integración de carbón incrementando la absoción de dióxido de carbono en techos verdes para almacenar carbono. También se realizan otras investigaciones mediante la inoculación de hongos micorrizales. (Grant & Gedge, 2019)

En los jardines verticales la capacidad de captura de carbono es determinada por la escogencia de sistemas que contengan sustrato orgánico y la escogencia de las especies por su área foliar.

VERSIÓN BORRADOR

Control de Escorrentía

Las coberturas vegetales sirven como depósito de acumulación del agua de las precipitaciones. Por medio de la tecnología de aljibes, el agua de la lluvia se puede reutilizar para regar la misma cubierta o para otros usos (lavabo, limpieza, enfriamiento de aparatos...).

Las cubiertas verdes son instrumentos muy importantes en la prevención de inundaciones locales, ya que, según el sistema de cubierta verde y la profundidad del medio de cultivo, el agua de lluvia que se vierte directamente en el alcantarillado se puede reducir entre un 50 y un 90 %.

Este efecto permite reducir el estrés en la red de alcantarillado durante el año y en los periodos de máxima precipitación. Además, las precipitaciones arrastran nutrientes, sedimentos, hidrocarburos, compuestos orgánicos clorados y metales pesados de las superficies de los edificios y calles. Cuando esto ocurre sobre una cubierta ajardinada, la vegetación filtra y absorbe una parte de esta contaminación.

Varios estudios destacaron las ventajas para la hidrología urbana y la gestión de aguas pluviales, centrándose en la capacidad de las cubiertas vegetadas para minimizar los riesgos de inundaciones al reducir la escorrentía y mejorar su calidad. Como resultado de esta mejora, debido a la absorción de lluvia en el suelo, se reduce la carga sobre las instalaciones de tratamiento de agua.

Control Acústico

Las coberturas vegetales pueden reducir la exposición al sonido cerca o dentro de un edificio al mitigar las ondas sonoras difractantes y así reducir la transmisión del sonido a través del sistema del techo. Se demostró que los sustratos de cultivo porosos de uso común tienen buenas propiedades de absorción de sonido cuando están secos.

VERSIÓN BORRADOR

Mitigación del efecto de isla de calor

El Efecto de Isla de Calor Urbano (ICU) se da en los centros urbanos donde predominan materiales como el hormigón, la mampostería y el asfalto (que absorben el calor solar y lo re irradian por la noche) y donde el calor residual se descarga desde los edificios, el transporte y la infraestructura. Hay evidencia y modelos disponibles para mostrar cómo la infraestructura verde, particularmente los techos y paredes verdes, reduce o elimina el efecto ICU, aportando confort y salvando vidas.

El efecto de enfriamiento de los techos verdes extensos es significativo. Cubiertas vegetadas intensivas en Calabria, Italia, lograron reducir la temperatura de la estructura subyacente en promedio 12°C frente a un techo convencional. Cubiertas vegetadas extensivas sembradas con plantas suculentas que no fueron irrigadas, redujeron la temperatura de la superficie del suelo en 18°C y la temperatura inmediatamente debajo de la cubierta se redujo en 27.5°C.

Estos efectos de enfriamiento tienen impactos en toda la ciudad; un ejercicio de modelación en Constantine, Argelia, indica que la cobertura del 50% de los techos verdes disminuiría la temperatura del aire ambiente de la ciudad en un promedo de 1.3°C. (Grant & Gedge, 2019).

Eficiencia Energética

Según la literatura actual, el rendimiento energético de las cubiertas vegetadas sigue siendo el beneficio más común por el que se promueven y adoptan, esto debido a la reducción de la temperatura de la superficie del techo y el calor solar en los componentes de recubrimiento de los edificios, destacando sus contribuciones tanto al rendimiento térmico como a las condiciones microclimáticas en entornos urbanos. Las coberturas vegetales mejoran el rendimiento térmico de un edificio a través de los siguientes diferentes mecanismos:

Sombreado

La vegetación proporciona una capa adicional que da sombra al sustrato y al techo, bloqueando parte de la radiación solar entrante. Esta radiación no es calor, pero se convertirá en calor mediante la absorción de las ondas electromagnéticas por la materia. Los rayos del espectro infrarrojo son en mayor parte los responsables del calentamiento de los objetos, pues logran aumentar el movimiento de las partículas, provocando un aumento de temperatura. Las coberturas vegetales de los sistemas horizontales y verticales, protegen los edificios de la radiación solar interponiendose entre los rayos del sol y las superficies, utilizando esa energía para realizar la fotosíntesis.

Del total de la energía procedente del sol incidente en una hoja, entre el 5-30% es reflectada, un 5-20% es usada en la fotosíntesis, el 10-50% es transformada en calor, sobre 20- 40% es usada en el proceso de evapotranspiración y un 5-30% pasa a través de la hoja (Krusche et al., 1982).

De estos datos se deduce que los vegetales absorben entre un 25% y un 60% de la energía que incide en la hoja, bien por procesos fotosintéticos o bien por procesos de evapotranspiración, particularidades intrínsecas a su naturaleza y de la que los demás materiales de construcción carecen. Un estudio sobre las hojas de hiedra nos muestra unos valores de 14,77% de energía reflectada, un 14,82% para a través de la hoja y el 70,41% restante es absorbida (Di & Wang, 1999), de la cual parte es usada para la fotonsintesis, parte para la evapotranspiración y otra parte será transformada en calor. (Pereira Fernández, 2016)

VERSIÓN BORRADOR

Evapotranspiración

La evaporación y la transpiración de las plantas en las coberturas vegetales ocurren simultáneamente y no hay ninguna forma simple de distinguir una de otra, de ahí que se use el término conjunto de evapotranspiración. Ambas se basan en la vaporización del agua, y para que esta agua se evapore, se requiere energía y se denomina calor latente, es la utilización de esta energía en los procesos de evapotranspiración de las coberturas vegetales lo que hace que tengan un efecto refrigerante. (Pereira Fernández, 2016)

Mientras exista suficiente cantidad de humedad disponible, la evapotranspiración es proporcional al estrés térmico, lo que significa que la capacidad de la vegetación de enfriar por evapotranspiración aumenta cuando más calor hace (Olivieri, 2013).

Durante la noche, la capacidad de las plantas para reducir las temperaturas se debe sólo a la evapotranspiración (Hoelscher et al., 2016), ya que no hay sombreamiento.

Aislamiento térmico

Las capas de sustrato y drenaje en cubiertas vegetadas y jardines verticales aumentan la resistencia al calor proporcionando una capa térmica adicional a las superficies de cerramiento de las edificaciones.

Experimentos a escala en condiciones exteriores en diferentes sistemas de cubiertas vegetales desarrollados en Cali (Colombia) mostraron que, durante los días en los que la temperatura ambiental era alta (más de 35°C), hubo una reducción de temperatura entre 10.6° C y 11.7°C por debajo de los prototipos de cubiertas vegetales. Estos resultados son similares a los reportados en la literatura para climas tropicales.

Los datos de temperatura de los cuatro momentos del día se resumen en la figura 28. De izquierda a derecha: mañana, mediodía, puesta de sol y temprano en la mañana. En el primer segmento se observó un cambio entre el ambiente y el efecto del amanecer. En el segundo, se observó una diferencia notable por la condición de alta temperatura que se presentó en la ciudad de Cali y el aporte decreciente de los techos. En el tercer segmento, nuevamente, se observó un cambio entre los techos y el ambiente debido a la llegada de la noche.

Finalmente, se observó la condición de menor temperatura ambiente en la noche y primeras horas de la mañana. (Naranjo et al., 2020)

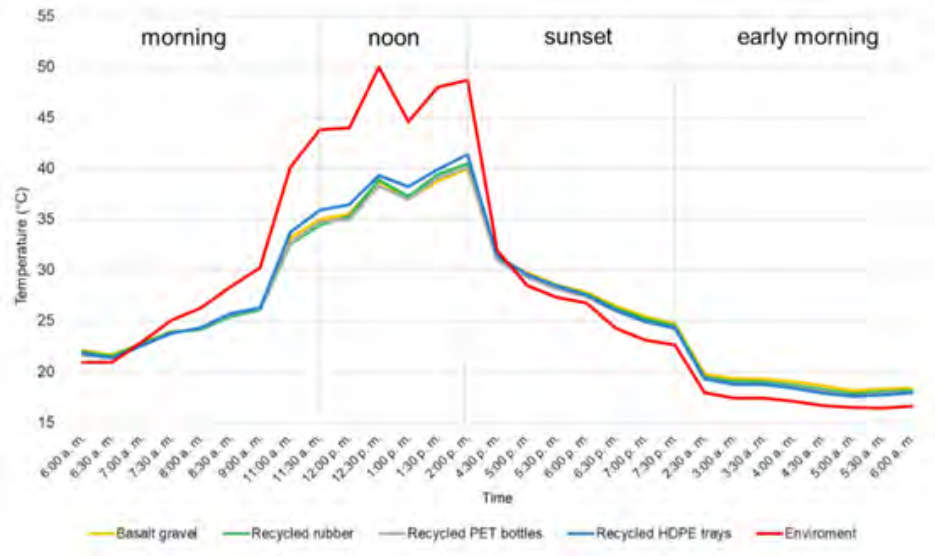


Figura 28. *Reducción de temperatura con cubiertas vegetadas en la ciudad de Santiago de Cali. Colombia.*
Fuente: *Naranjo et al., 2020.*

VERSIÓN BORRADOR

Los beneficios que se le atribuyen a los sistemas de jardines verticales se pueden dar, bien por el aislamiento térmico debido al soporte, al sustrato o a cualquier otro material integrante del sistema, o bien debido a la existencia de la capa de aire retenida entre las hojas de las plantas, y entre las mismas y las capas contiguas. Ciertos estudios realizados sobre el comportamiento de las coberturas vegetales nombran la capacidad de los sistemas de mantener una capa de aire en reposo que permite generar aislamiento térmico, algunos de estos estudios midieron las velocidades del viento próximas y entre las hojas de varios sistemas verticales para probar la existencia de esta capa de aire y observando una considerable reducción de la velocidad del viento en superficie.

Diferentes casos de estudio en climas calurosos han demostrado que los jardines verticales reducen la temperatura de la pared exterior del edificio detrás de ellas hasta en 16°C. Jardines verticales orientados al sur en Leida, España, registraron estar hasta 32°C más fríos que los muros de mampostería adyacentes. (Grant & Gedge, 2019)

En los sistemas de jardín verticales con sustrato, hay que tener en cuenta que la conductividad de la tierra vegetal es de aproximadamente 0,52 W/m·K (CTE WEB, s. f.), pero este valor puede variar mucho dependiendo del grado de humedad y del grado de compactación.

En cuanto a los sistemas sin sustrato, los elementos que contienen las plantas suelen tener menos conductividad térmica, como por ejemplo las láminas de fieltro utilizadas en los sistemas hidropónicos (0,05 W/m·K), o elementos que permitan la distribución de agua por capilaridad, como espumas plásticas o lana de roca (0,04 y 0,031 W/m·K), pero, como su función en este tipo de sistemas es la de retener el agua para otorgarle los nutrientes necesarios a las plantas, van a estar continuamente saturados de agua, por lo que sus conductividades térmicas no tienen nada que ver con estos valores y estarán mucho más cerca de la conductividad térmica del agua (0,58 W/m·K). (Pereira Fernández, 2016)

Generalmente se analizan los sistemas de cobertura vegetal en conjunto, calculando la resistencia térmica del paramento al paso de calor hacia el interior, obteniendo en jardines verticales incrementos de resistencia térmica estimado en diversos estudios en 0,7–0,8 m²·K/W como máximo en fachadas cubiertas por hiedras (Susorova et al., 2013), o 0,5 m²·K/W en una capa de hiedra de 25cm (Kontoleon & Eumorfopoulou, 2010).

Inercia térmica

El sustrato en las coberturas vegetales aumenta la masa térmica retrasando y reduciendo la entrada de flujos de calor.

Las propiedades térmicas de la vegetación son bastante complejas, las plantas absorben una gran cantidad de energía solar que reciben para realizar la función clorofílica, gran parte de esta energía se libera durante la noche, para mantener el balance energético. Los diferentes estudios sobre inercia térmica demostraron la importancia del índice de área foliar de la capa de vegetación de coberturas horizontales y verticales, mientras que para la caracterización térmica de los sustratos el factor clave es el espesor del mismo.

Ahorro de Energía

Muchos estudios investigaron el ahorro de energía de los edificios con fachadas verdes para diferentes orientaciones y estructuras de fachadas, mientras que pocos estudios han analizado la influencia de la forma urbana.

Los resultados muestran que la implementación de jardines verticales en las fachadas a escala de manzana proporciona una tasa de ahorro de energía diaria de 3,2% a 11% y un ahorro de energía diario por m² de jardín vertical de 123 a 347 Wh / m², lo que representa una reducción de la energía de refrigeración artificial de 11 a 31 kWh por cada m² de fachada con jardin vertical. (Peng et al., 2020)

VERSIÓN BORRADOR

Biodiversidad

La creación de áreas de referencia y hábitats para flora y fauna en cubiertas vegetadas y jardines verticales hace una contribución significativa para compensar las consecuencias negativas de la construcción y el sellado de los recursos naturales de la fauna y la vegetación. Varios estudios científicos han demostrado que las cubiertas ajardinadas ricas en especies y con diferentes tipos de vegetación también tienen efectos positivos sobre otras funciones y efectos ecológicos.

Si las coberturas vegetadas, se van a utilizar como una medida compensatoria o de reducción para minimizar la invasión de los recursos naturales protegidos, se deben aplicar los siguientes componentes básicos de la biodiversidad:

- Selección de un sustrato o varios sustratos con los que se puede lograr el objetivo deseado.
- Modulación de la superficie del sustrato con diferentes niveles de elevación.
- Creación de áreas más pequeñas, libres de vegetación (por ejemplo, en forma de lentes de arena o arcilla, lechos de grava gruesa o áreas de agregados minerales).
- Creación de áreas de retiro con sombra para animales terrestres a través de montículos de sustrato, rocas naturales, plantaciones leñosas o lechos de plantas superiores.
- Incorporación de plantas alimenticias para insectos y aves en el concepto de plantación.
- Introducción de biomasa (ramas muertas, raíces, rejas de árboles).
- Ayudas de anidación a prueba de viento para pájaros e insectos.
- Instalación de elementos de agua con flora apropiada. (FLL, 2008)

Impactos Sociales y económicos

A pesar de su alto costo inicial, a largo plazo, las cubiertas vegetadas son una opción económica considerando su ahorro energético, sin embargo, el enfoque de los desarrolladores se ha limitado a lograr beneficios estéticos básicos. En general, esto se debe a la falta de investigación sobre diferentes aspectos de los techos vegetales y a la introducción prematura de productos en el mercado.

VERSIÓN BORRADOR

5.5.

Estrategia de Implementación

VERSIÓN BORRADOR

Porcentajes mínimos de cobertura vegetal sugeridos

Este manual sugiere desarrollar cubiertas vegetales en nuevos desarrollos o adiciones que superen los 2.000 m² de construcción, entre el 20% y el 60% del espacio disponible en el techo de un edificio, en los siguientes casos:

- Nuevo desarrollo comercial, institucional y residencial con una superficie mínima de 2.000 m² construidos.
- Nuevas adiciones al desarrollo comercial, institucional y residencial donde la nueva superficie agregada superior a los 2.000 m² construidos.

Residencial y no residencial (excluido industrial)

El requisito de cobertura vegetada se gradúa, según el tamaño del edificio. La siguiente tabla muestra cómo el requisito varía entre el 20 y el 60 % del espacio disponible en el techo para el desarrollo comercial, institucional y residencial.

ÁREA CONSTRUIDA*	ESPACIO DISPONIBLE DE CUBIERTA**
Tamaño del Edificio	Porcentaje Cobertura Vegetal
2,000-4,999 m²	20%
5,000-9,999 m²	30%
10,000-14,999 m²	40%
15,000-19,999 m²	50%
20,000 m² en adelante	60%

Tabla 4. *Requisito de cobertura vegetada.*
Fuente: *elaboración propia. 2021.*

* Según definición del POT.
** El Espacio disponible de cubierta equivale a la sumatoria del área total de cubierta independiente de su característica constructiva, menos lo siguiente:

- Áreas designadas para energía renovable.
- Terrazas privadas residenciales.
- Espacio de servicios residenciales al aire libre (hasta un máximo de 2m² / unidad).
- Equipos técnicos (Tuberías, buitrones, aire acondicionado).

Solo las anteriores áreas de cubierta pueden excluirse del cálculo del espacio de techo disponible. Será posible compensar hasta el 50% el área de cubierta en jardines verticales de la(s) fachada(s) principal(es).

Incentivos para su uso

Los incentivos y beneficios serán definidos por el Distrito de Santiago de Cali de forma coordinada con el Sello Cali Construye Sostenible.

VERSIÓN BORRADOR

Términos y Definiciones

Adaptabilidad	Es el resultado del proceso de adaptación de una especie vegetal y su continuidad en condiciones favorables en el nuevo ecosistema.
Adaptación	Proceso de una especie vegetal naturalizada que ha logrado desarrollarse en forma natural o ha sido introducida por los seres humanos en un ecosistema diferente a su sitio de origen, desde su establecimiento (siembra) hasta completar todo su ciclo vegetativo y continuar indefinidamente en condiciones adecuadas en su nuevo hábitat.
Árbol	Vegetal perenne, de tronco leñoso y predominante, en cubiertas vegetadas, con altura superior a tres (3) metros, que se ramifica a cierta altura del suelo.
Arbusto	Vegetal perenne, de tronco leñoso no predominante, en cubiertas vegetadas, con altura inferior a tres (3) metros, que se ramifica a poca altura del suelo.
Área de raíz	En cubiertas vegetadas, es el área en metros cuadrados que pueden mantener raíces. En jardines verticales es el número de espacios por metro cuadrado que pueden contener raíces. Incluye tanto la capa portadora de vegetación como el área de la capa de drenaje.
Barrera de penetración de la raíz	La barrera de penetración de la raíz debe evitar permanentemente el daño a la impermeabilización causado por la penetración de las raíces de las plantas y posiblemente por los rizomas cuando la impermeabilización no sea específica para cubiertas ajardinadas.
Capa de aire	En las cubiertas vegetadas, es el espacio de aire entre la capa de drenaje horizontal y la capa de protección de la impermeabilización. En los jardines verticales, es el espacio de aire entre la superficie de los muros de soporte o fachadas y el contenedor de raíz. El área de separación evita el contacto directo del agua con la superficie y el crecimiento de raíces y rizomas.

VERSIÓN BORRADOR

Capa de drenaje horizontal	Capa situada sobre la impermeabilización o la protección de la impermeabilización en cubiertas vegetadas, compuesta de materiales parcialmente reciclados resistentes a la humedad. La capa de drenaje horizontal absorbe el exceso de agua debido a su estructura hueca y drena el agua sobrante por aberturas superiores que es conducida a los sumideros del edificio. En cubiertas vegetadas híbridas, también sirve para almacenamiento de agua, regulación de agua de lluvia y aumentar el espacio de raíz asumiendo una función protectora para la estructura subyacente. Las capas de drenaje pueden ser simples, consistentes de un solo componente, o compuesta, que combina varios componentes, incluidos: geosintéticos, geocompuestos y agregados minerales o reciclados.
Capa de drenaje vertical	Capa simple o compuesta de materiales geo textiles, geosintéticos o geocompuestos que permite el flujo vertical del agua de forma homogénea a la capa de sustrato en bolsillos o contenedores. La capa de drenaje vertical transporte el sobrante de la saturación de la capa de sustrato a los tanques de recirculación, sumideros del edificio, o zonas permeables según sea el caso.
Capa de sustrato – Medio de crecimiento	Capa formada por una mezcla de material mineral y orgánico que tiene como función dar soporte físico a la vegetación, drenar el exceso de agua, retener humedad, nutrientes y microorganismos, generar espacios de aireación y conservar la estabilidad dimensional sin degradarse.
Capa filtrante	Capa continua, situada entre la capa de sustrato y la capa drenaje. En cubiertas vegetadas, la capa de filtro evita que el suelo más fino y las partes del sustrato se deslicen desde la vegetación hacia la capa de drenaje, lo que perjudica la permeabilidad al agua de esta capa.
Capa protectora de la impermeabilización	Capa continua, situada encima de la membrana impermeabilizante, que tiene la función de proteger la impermeabilización de las agresiones mecánicas, la abrasión, la perforación, la exposición a los rayos UV y la fluctuación de la temperatura garantizando el recorrido laminar del agua sobrante a los sumideros del techo. Las capas protectoras pueden considerar otras capas adicionales de materiales según lo recomiende el fabricante de la membrana, tales como revestimientos, materiales geosintéticos, geotextiles, geocompuestos, sobre losas y/o aislación, entre otros.
Capacidad de intercambio catiónico CIC	Capacidad de un suelo para retener e intercambiar los cationes de nutrientes, definidos como la suma de cationes intercambiables que un medio puede retener por peso de unidad.

VERSIÓN BORRADOR

Capas tecnológicas	Conjunto de elementos que homologan las funciones del terreno natural para el desarrollo de las especies vegetales en espesores bajos de sustrato.
Cobertura vegetal	Área efectivamente cubierta por especies vegetales respecto del total del área que se desea cubrir. Se expresa en porcentaje.
Conductividad hidráulica	Facilidad con la que un medio deja pasar el agua a través de él.
Cubierta Vegetada	Sistema de capas tecnológicas que aseguran el desarrollo y longevidad la vegetación en las cubiertas y terrazas de edificios y otras construcciones contribuyendo con los objetivos ambientales que se propongan para cada proyecto, en balance con los criterios de sostenibilidad que se consideran en este Manual. Entre las capas tecnológicas se pueden encontrar: La capa de sustrato, la capa filtrante, la capa de drenaje, la capa protectora de la impermeabilización, los sistemas retenedores de agua, la barrera de penetración de raíz, la impermeabilización, los sistemas de riego y monitoreo, entre otros. Las cubiertas vegetadas se integran con los sistemas hidrosanitario, eléctrico y de control electromecánico de la construcción que benefician.
Curva de distribución de tamaño de partículas - Curva de granulometría	Curva basada en un análisis de tamiz que describe las cantidades relativas de partículas de diferentes tamaños en una mezcla, basado en el peso seco. Para los medios de crecimiento, esta descripción se limita a la fracción no orgánica.
Diversidad Florística	Número y abundancia relativa de las especies vegetales existentes en un área específica o un ecosistema.
Documentos del proyecto	Documentos en los que se explican los conceptos en los que se basa el diseño del proyecto de Cubierta vegetada o Jardín vertical según los objetivos definidos para el proyecto, incluyendo las especificaciones técnicas, la planimetría, simulaciones computacionales, memorias, entre otros.
Efecto Isla de Calor Urbana (ICU)	Fenómeno de elevación de la temperatura ambiente en zonas urbanas densamente construidas, causado por una combinación de factores tales como la edificación, la falta de vegetación, los gases efecto invernadero y/o la generación de calor producto de materiales de construcción y amueblamiento.
Escorrentía	Corriente de agua de lluvia escurrida (precipitación menos la evapotranspiración), puede ser superficial o subsuperficial. La distribución de la escorrentía dependerá de la infiltración y capacidad de almacenamiento del suelo.

VERSIÓN BORRADOR

Especie adaptada introducida	Especie arbórea procedente de otra región o zona, plantada en un nuevo sitio o región que se adaptó a las condiciones ambientales del nuevo sitio o región, logrando un adecuado desarrollo y realizando todas las funciones biológicas en forma adecuada.
Especie naturalizada	Especie de la fauna o flora que ha logrado desarrollarse y que ha adquirido la capacidad de regenerarse naturalmente en regiones o ecosistemas diferentes a los de su origen natural.
Especie nativa	Vegetación perteneciente a la región o territorio, la cual forma parte integral de un bosque natural.
Especie delictual	Especie que se encuentra en vía de extinción.
Especie endémica	Especie vegetal que sólo se encuentra en un sitio particular.
Estratos vegetales	Calificación de la vegetación según su fisiología vegetal (por ejemplo, tamaño y características) y su función en el diseño.
Evapotranspiración	Proceso por el cual el agua se libera a la atmósfera por evaporación desde la superficie del sustrato, del follaje de plantas y de los componentes de la cobertura vegetal. Las tasas de evapotranspiración potenciales se pueden determinar usando los datos climáticos. Las tasas específicas de evapotranspiración pueden variar con el tipo de planta, la densidad del follaje de las plantas, la composición del sustrato del techo verde y la disponibilidad de irrigación.
Fitotóxico	Compuestos orgánicos e inorgánicos considerados venenosos para la vegetación.
Índice de área foliar	Cantidad de área de las hojas por unidad de área de superficie que utiliza la planta.
Jardín Vertical	Sistema de capas tecnológicas que aseguran el desarrollo y longevidad de la vegetación en las fachadas y paredes internas de edificios y otras construcciones contribuyendo con los objetivos ambientales que se propongan para cada proyecto, en balance con los criterios de sostenibilidad que se consideran en este Manual. Entre las capas tecnológicas se pueden encontrar: La capa de sustrato, la capa filtrante, la capa de drenaje, la capa protectora de la impermeabilización, los sistemas retenedores de agua, la barrera de penetración de raíz, la impermeabilización, los sistemas de riego y monitoreo, entre otros. Las cubiertas vegetadas se integran con los sistemas hidrosanitario, eléctrico y de control electromecánico de la construcción que benefician.

VERSIÓN BORRADOR

Lámina de depósito	Membrana de plástico con forma que contiene receptáculos en su superficie superior para capturar y retener agua.
Máxima capacidad de retención de agua	Punto en el que el sustrato no puede absorber más agua.
Membrana de Impermeabilización	Sistemas de membranas o compuestos químicos que forman membranas cuyo objetivo es detener el agua, impidiendo su paso a las áreas interiores de la construcción que deben permanecer secas. Los sistemas de impermeabilización son inherentes a las cubiertas vegetadas y jardines verticales, pero sus requisitos técnicos específicos se deben consultar en las normas vigentes y no son parte de este Manual.
Pendiente	Inclinación de la cubierta, de ángulo variable, que facilita la evacuación del agua de lluvia, riego, o de otras precipitaciones atmosféricas hacia los sumideros.
Permeabilidad de agua saturada – Permeabilidad hidráulica saturada	Corresponde a la cantidad de agua en exceso que se drena una vez que ya está completamente saturada, expresada en L/s. Para el sustrato de cubiertas vegetadas, es el coeficiente que, al multiplicarse por el gradiente hidráulico produce la velocidad aparente en la que el agua a (20°C) se mueve a través de la sección transversal del medio sumergido completamente.
Peso saturado – Peso muerto	Suma de los pesos de la capa de drenaje, capa filtrante, capa protectora y del sustrato, en su máxima capacidad de retención de agua, más la vegetación desarrollada en estado adulto.
Potencial capilar	Es la propiedad que indica la habilidad de un material (geotextiles y sustratos) de distribuir la humedad por capilaridad.
Resistencia estomática	Corresponde al inverso de la conducta estomática (estomas) tradicional que es regular el intercambio gaseoso y la transpiración de las plantas. La resistencia estomática se expresa como un producto de funciones discontinuas del potencial hídrico foliar y el flujo solar (s/cm), como efecto de cambios del recurso hídrico y de temperaturas ambientales
Responsable del proyecto de cobertura vegetal	Líder con formación o experiencia en proyectos de cobertura vegetal en edificaciones quien es responsable de un conjunto de especialidades que trabajan colaborativamente para diseñar, ejecutar y mantener una cobertura vegetal integrada en la edificación de acuerdo con la envergadura del proyecto.

VERSIÓN BORRADOR

Subestructura de soporte	Elemento no estructural que soporta el sistema de capas tecnológicas de un jardin vertical, inclinado o cortina de vegetación.
Tamaño de apertura aparente	Propiedad que indica la partícula mayor aproximada que podría pasar efectivamente a través del un geotextil.
Transmisividad hidráulica	Tasa de flujo volumétrico por ancho del elemento que se está evaluando por gradiente de unidad en una dirección paralela al plano del elemento, también conocido como el flujo en plano, y, para un medio de drenaje granular, la permeabilidad del agua saturada multiplicada por el grosor de la capa.
Servicios eco sistémicos	Contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano. Se clasifican en cuatro categorías: provisión, regulación, culturales y de soporte.
Tamaño de apertura aparente	Propiedad que indica la partícula mayor aproximada que podría pasar efectivamente a través del un geotextil.
Volumen poroso - Porosidad	Volumen de huecos disponible para el flujo de agua y aire respecto del volumen total.

VERSIÓN BORRADOR

VERSIÓN BORRADOR

VERSIÓN BORRADOR

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

SUDS – Edificatorio

TOMO II | Capítulo 6

ÍNDICE DE CONTENIDO

TOMO II | Capítulo 6

		Pág.
A.	**CONTEXTO.**	473
	- Manejo sostenible del drenaje urbano.	
6.1.	**ESTRATEGIAS DEL DRENAJE URBANO SOSTENIBLE - EDIFICIOS Y PROPIEDADES.**	475
	DE.1. EN EL EDIFICIO Y/O LA PROPIEDAD. DE.1.1. Materiales de cubierta. DE.1.2. Áreas comunes – diseño urbanístico orientado al agua.	475
	DE.2. REDUCCIÓN DE LA ESCORRENTÍA. DE.2.1. Desconexión de zonas impermeables. DE.2.2. Tanques en muros, exteriores y sótanos.	477
	DE.3. AUMENTO DE LA FILTRACIÓN DEL TERRENO. DE.3.1. Zanjas filtrantes. DE.3.2. Jardines de biorretención. DE.3.3. Estacionamientos filtrantes.	478
6.2.	**TIPOLOGIAS DE SUDS.**	480
	- Componentes. - Ventajas y desventajas. - Procesos para el manejo de la escorrentía.	
6.3.	**RECOMENDACIONES DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO.**	484

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definición de estrategias para el manejo de la escorrentía.
Tabla 2. Ventajas y desventajas de las tipologías propuestas para la escala Edificio y/o propiedad.
Tabla 3. Reducción de contaminantes objetivo de cada tipología.
Tabla 4. Procesos para el manejo de la escorrentía en las tipologías de SUDS.
Tabla 5. Metodologías para el diseño de tipologías de SUDS.
Tabla 6.Guía para la selección del tipo de sistema de pavimento.
Tabla 7 Restricciones del sitio para implementación de alcorques.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estrategias para el manejo del agua pluvial.
Figura 2. Ejemplo de desconexión de zonas impermeables.
Figura 3. Cubierta verde en la Universidad Estatal de Ohio.
Figura 4. Bajante en Scottsdale (Estados Unidos)en la que la escorrentía es dirigida a una zona verde.
Figura 5. Tanque de almacenamiento plástico.
Figura 6. Zanjas de infiltración en estacionamiento de un hospital en Montgomery, Pensilvania (Estados Unidos).
Figura 7. Jardín de biorretención en Greendale, Wisconsin (Estados Unidos).
Figura 8. Estacionamiento filtrante.
Figura 9. Jardines de biorretención en Vastra Hamnen, Malmö (Suecia).
Figura 10. Vado con bordillos laterales en un jardín de biorretención.
Figura 11. Vado a la entrada de una estructura de detención.
Figura 12. Alcorque ubicado junto a un jardín de biorretención en Aurora, Illinois (Estados Unidos).
Figura 13. Alcorque en Avenida Tabor – Rincón en Bogotá.
Figura 14. Diagrama para el diseño de techos azules.
Figura 15. Diagrama para el diseño de tanques.
Figura 16. Diagrama para el diseño de Zanjas filtrantes.
Figura 17. Diagrama para el diseño de Jardines de Biorretención.
Figura 18. Ejemplos de capas superiores filtrantes de los sistemas de pavimentos permeables: eco-pavimento con ladrillo triturado (izquierda), neumático reciclado (centro), grama (derecha).
Figura 19. Diagrama para el diseño de pavimentos permeables.
Figura 20. Diagrama para el diseño de alcorques.

VERSIÓN BORRADOR

A.

Contexto

VERSIÓN BORRADOR

La gestión de la escorrentía comienza con su control en la superficie o propiedad en la que se produce, lo cual involucra procesos de prevención y control en la fuente. Este capítulo hace referencia al control en la fuente, la escala de edificios y propiedades. Hay que considerar que algunas tipologías se pueden utilizar tanto a esta escala como a escala urbanística (ver capítulo 2 del tomo I de este Manual).

De acuerdo con el tipo y tamaño de las áreas privadas pueden implementarse estrategias para el manejo de la escorrentía. Cada una de estas tiene un potencial distinto para su control y la provisión de beneficios adicionales. A su vez, su relación con elementos construidos y naturales varía. Su uso conjunto con las otras escalas (calle y espacios abiertos) es clave para la conformación de una red que permita disminuir el riesgo por los cambios en la cantidad y calidad de la escorrentía, y en la que se establezcan sinergias para incrementar los beneficios provistos. Cada una de estas estrategias tiene distintas características, como se resume en la figura 1.

De igual forma, la figura 1 resume las estrategias para el manejo de la escorrentía de acuerdo con los diferentes tipos de áreas de la ciudad. Como se resume en esta, una misma práctica puede estar relacionada con distintas tipologías.

El potencial de implementación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible - SUDS en los edificios y áreas comunes se centra en el control en la fuente y la reducción de descargas, de manera que es posible minimizar la escorrentía producida mediante el control de áreas impermeables, ya sea a partir de materiales y tipologías de SUDS, o la desconexión de estas áreas del sistema de drenaje convencional (figura 2). A su vez, el manejo del agua pluvial puede convertirse en una herramienta para el diseño de los espacios comunales.

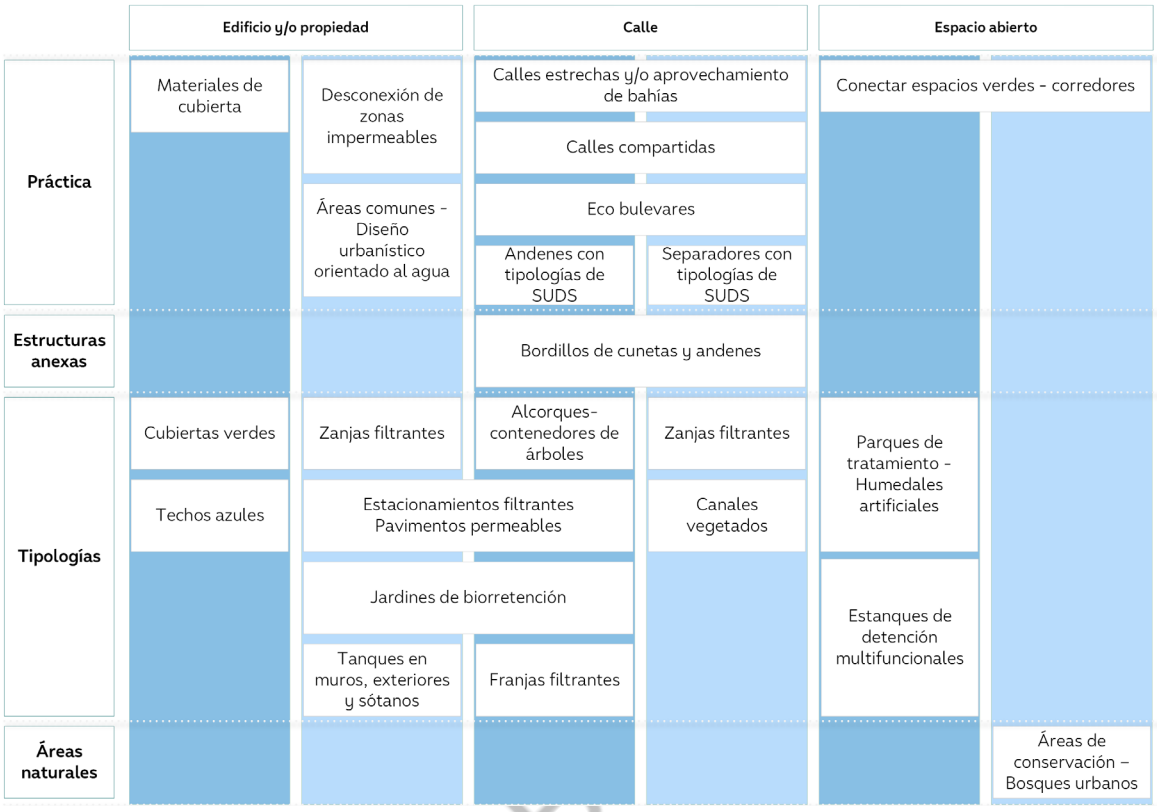


Figura 1. *Estrategias para el manejo del agua pluvial.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

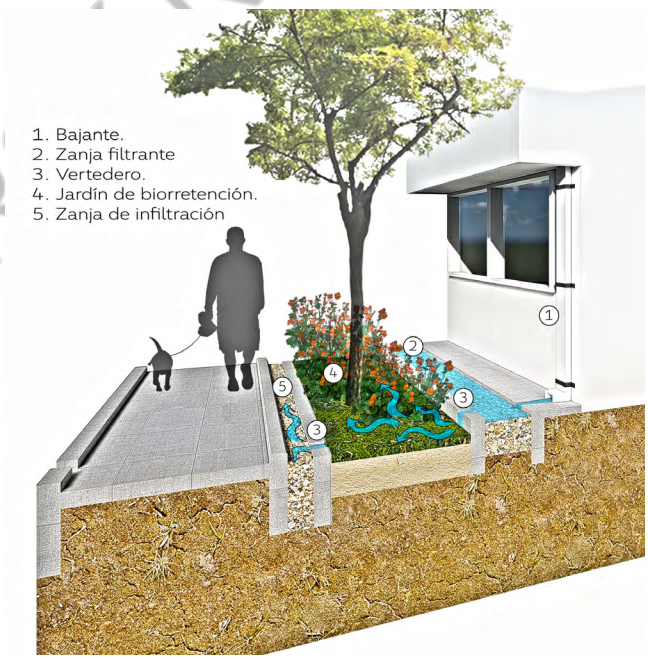


Figura 2. *Ejemplo de desconexión de zonas impermeables.*
Fuente: *adaptado de Faha, Faha, & Milligan, 2009.*

VERSIÓN B

6.1.

Estrategias del drenaje urbano sostenible

VERSIÓN BORRADOR

DE.1. En el Edificio y/o Propiedad

DE.1.1. Materiales de cubierta

Corresponde al conjunto de estrategias en las que se emplean materiales distintos a los convencionales, de manera que la cubierta desempeñe funciones adicionales relacionadas con el manejo del agua lluvia. Esto incluye prácticas como cubiertas verdes y techos azules. A su vez, el uso de materiales determina la calidad de la escorrentía, por lo que las cubiertas verdes o los techos de metal son opciones adecuadas para el posterior aprovechamiento del agua lluvia en comparación con las tejas de fibra de vidrio y madera que pueden generar lixiviados que reducen el potencial de aprovechamiento de la escorrentía (Luoni et al., 2010).

Los techos azules son estructuras de detención que proveen almacenamiento temporal de agua lluvia, la cual es drenada lentamente del techo. Suelen emplearse en edificios con cubierta plana o poca pendiente. La detención del agua se hace a través de barreras perimetrales o mediante la ubicación de estructuras para restringir el drenaje. Se compone de cuatro elementos correspondientes a la estructura entrada, el área de almacenamiento, estructura de salida y componentes de inspección y mantenimiento. Por lo general el flujo de descarga se controla a partir de orificios y se dirige al drenaje del edificio o bajantes (Philadelphia Water Department, 2015).



Figura 3. *Cubierta verde en la Universidad Estatal de Ohio.*
Fuente: *Keck, 2019.*

DE.1.2. Áreas comunes – diseño urbanístico orientado al agua

El diseño de las áreas comunes puede contribuir simultáneamente al manejo del agua pluvial y a la generación de amenidad. En esta medida, a través del diseño, estas áreas pueden contribuir a la educación, recreación, seguridad, relaciones públicas y riqueza estética (Echols & Pennypacker, 2008). Las estrategias de diseño relacionadas con estos objetivos incluyen la creación de espacios que hagan visible el ciclo del agua, permitan la reunión de personas y donde la interacción sea posible. Esto implica disponer elementos para tener contacto directo o indirecto con el agua, así como para garantizar que este contacto sea seguro a través del control de la cantidad y la calidad de la escorrentía (CIRIA Norfolk Country Council, 2015; Echols & Pennypacker, 2008).

VERSIÓN BORRADOR



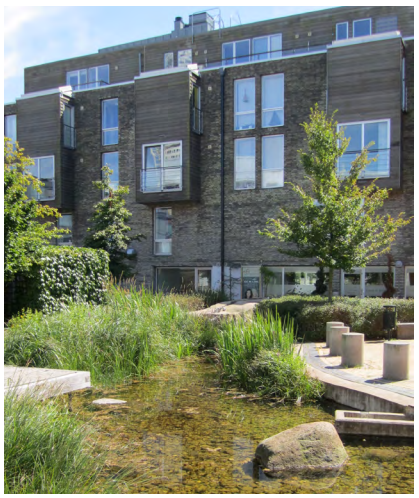


Figura 4. *Jardines de biorretención en Vastra Hamnen, Malmö (Suecia).*
Fuente: *La Citta Vita, 2010, 2011.*

DE.2. Reducción de la escorrentía

DE.2.1. Desconexión de zonas impermeables

Esta práctica se refiere a la conducción de la escorrentía proveniente de áreas impermeables y techos a zonas verdes y tipologías de SUDS, las cuales se encuentran conectadas al sistema de drenaje convencional. Para tener oportunidades de desconexión es importante incorporar suficientes áreas permeables en el desarrollo de un lugar (Philadelphia Water Department, 2015).



Figura 5. *Bajante en Scottsdale (Estados Unidos) en la que la escorrentía es dirigida a una zona verde.*
Fuente: *Bloomfield, 2009.*

DE.2.2. Tanques en muros, exteriores y sotanos

Mediante esta tipología se recoge el agua pluvial para su aprovechamiento posterior en usos no potables. El diseño de estos sistemas puede estar enfocado únicamente en el suministro de agua o incluir el manejo de escorrentía superficial a partir de un volumen adicional de almacenamiento (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). La operación puede estar basada en la gravedad, el bombeo o una mezcla de estos dos. En general, los sistemas están compuestos por un tanque, un sistema de recolección y distribución y elementos para el manejo de excesos (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). A su vez, se suele emplear una tubería de lavado y un acceso de inspección para facilitar las labores de mantenimiento (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a).

Adicionalmente, el tanque de almacenamiento puede estar conectado al sistema de suministro de la ciudad para garantizar la disponibilidad del agua (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Es recomendable incluir un sistema de pretratamiento y rejillas, o un dispositivo que permita separar el agua de primer lavado (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a).



Figura 6. *Tanque de almacenamiento plástico.*
Fuente: *Coghlan, 2014.*

VERSIÓN BORRADOR

Por otro lado, en áreas exteriores se pueden disponer tanques de atenuación. Los cuales se emplean para generar espacio subterráneo para almacenamiento temporal. Comúnmente se construyen a partir de módulos geocelulares, tuberías plásticas o de concreto de gran tamaño, concreto, plástico reforzado con fibra de vidrio, entre otros (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Estos sistemas permiten almacenar volúmenes grandes de agua y pueden instalarse bajo estacionamientos, vías y áreas de recreación. Sin embargo, no tienen una capacidad intrínseca para el tratamiento de la escorrentía. Adicional al área de almacenamiento suelen incluir tuberías de entrada y salida, así como pozos para la inspección y mantenimiento (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

DE.3. Aumento de la filtración del terreno

DE.3.1. Zanjas filtrantes

Esta tipología permite el almacenamiento temporal de la escorrentía en zanjas poco profundas rellenas con grava o piedras. Provee atenuación, conducción y tratamiento a partir de filtración (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Adicional al medio filtrante (i.e., grava o piedras) para la construcción de estos sistemas se requiere un geotextil o geomembrana para revestir las paredes de la zanja. Estas estructuras pueden permitir la infiltración si las condiciones del suelo y la calidad de la escorrentía es la adecuada. Si no se lleva a cabo infiltración se debe incluir una tubería perforada cerca de la base de la zanja para recoger y conducir la escorrentía. Así mismo, una tubería perforada, localizada cerca de la superficie permite el manejo de eventos mayores a los de diseño. Debido a la probabilidad de colmatación el uso de pretratamiento es fundamental. Así como la disposición de una capa de piedra en la parte superior de la zanja para atrapar sedimentos (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).



Figura 7. *Zanjas de infiltración en estacionamiento de un hospital en Montgomery, Pensilvania (Estados Unidos).*
Fuente: *Montgomery County Planning Commission, 2014.*

DE.3.2. Jardines de bioretención

Corresponden a áreas cóncavas poco profundas con vegetación. Son empleadas para el manejo de eventos frecuentes de escorrentía. Tienen la capacidad de reducir las tasas y volúmenes de escorrentía, así como de mejorar su calidad a partir del uso de plantas y suelo modificado. Pueden proveer beneficios adicionales como mejora del hábitat y biodiversidad, y control del microclima.

VERSIÓN BORRADOR

Está tipología se compone de suelo mejorado sobre el cual se dispone vegetación y un sistema de salida para el manejo de excesos. Puede incluir capas subterráneas de drenaje de acuerdo con la tasa de infiltración, estas corresponden a una capa de transición o geotextil y una capa de drenaje en la que se disponen tuberías perforadas conectadas al sistema de salida (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Deben emplearse tuberías de limpieza para facilitar el mantenimiento e inspección del sistema. A su vez, se suele disponer una geomembrana o geotextil en el fondo y una entrada que incluye elementos para disipar la energía y prevenir la erosión (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a; CIRIA Norfolk Country Council, 2015).



Figura 8. *Jardín de biorretención en Greendale, Wisconsin (Estados Unidos).*
Fuente: *Volkening, 2010a.*

DE.3.3. Estacionamientos filtrantes

Corresponden a estacionamientos en los que se emplean pavimentos permeables. Estas superficies permiten el almacenamiento temporal y, en algunos casos, la infiltración de la escorrentía (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Se componen básicamente por cuatro capas correspondientes a:

1. Capa superficial permeable,
2. Capa de nivelación,
3. Reservorio o sub-base y
4. Capa filtrante (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a).

La capa superficial puede corresponder a distintos materiales como pavimentos modulares, asfalto poroso, concreto poroso o grava porosa (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a; CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Si no es posible infiltrar la escorrentía se debe incluir una capa de drenaje, esta incluye una tubería perforada y un geotextil o geomembrana en el fondo (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a). A su vez, se recomienda emplear una barrera perimetral con el objetivo de evitar el flujo de agua hacia áreas adyacentes y el movimiento de los adoquines. El uso de tuberías de inspección permite monitorear el desempeño de la tipología (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a).



Figura 9. *Estacionamiento filtrante.*
Fuente: *Center for Watershed Protection Inc, 2015.*

VERSIÓN BORRADOR

6.2.

Tipologias de SUDS

VERSIÓN BORRADOR

Componentes

Las tipologías de SUDS se componen de elementos que permiten el almacenamiento y tratamiento de la escorrentía, así como estructuras anexas cuya implementación depende de las características del lugar y de la calidad de la escorrentía.

La descripción en detalle de los componentes (Estructuras de entrada y salida, entre otros) se encuentran en el capítulo 2 del tomo 1 de este Manual.

Ventajas y desventajas

Para apoyar el proceso de selección de los SUDS, en la tabla 1 están las ventajas y desventajas de las tipologías propuestas para los SUDS aplicables a la escala de Edificio y/o Propiedad.

Adicionalmente, en las tabla 1 y 2 indicadan la capacidad de reducción de contaminantes de cada tipología de acuerdo con eficiencias obtenidas en SUDS monitoreados. La información de las tablas 1 y 2 se encuentra actualizada con estudios más recientes.

Tipología	Uso	Regulación potencial	Ventajas	Desventajas
Techos azules	Captación, almacenamiento y retención	0.85 – 1.00	- Reducen riesgo de inundación, menor escorrentía. - Reutilización de aguas para riego o para usos no potables. - Reduce temperaturas interiores.	- Añade peso a la estructura. - Puede incluir altos costos de construcción. - Mantenimiento constante.
Tanques en muros, sótanos y exteriores	Almacenamiento	0.40 – 0.98	- Alta capacidad de almacenamiento de agua, en comparación con los sistemas que están rellenos con grava. - La flexibilidad en su instalación, por debajo de vías, parqueaderos, áreas recreacionales o espacios públicos. - Control de salida de las aguas captadas. - Permite integración con otros sistemas en la salida.	- Puede requerir bombas para la evacuación de las aguas. - No recomendable para aguas susceptibles a presentar alta carga de sólidos en suspensión. - Disminución del tratamiento si el sistema funciona insolado. - Capacidad de acceso para su mantenimiento. - Si el sistema cuenta con un diseño inadecuado y no tiene un buen mantenimiento puede causar malos olores.
Zanjas filtrantes	Captación y transporte	0.65 – 0.85	- Facilidad de integración con el paisaje. - Bajo consumo bioenergético. - Altos rendimientos de depuración. - Requiere de menos área comparado con otros SUDS	- Características del suelo específicas. - Se pueden presentar problemas de colmatación debido a las partículas finas presentes en la escorrentía. - Riesgo de inestabilidad de la pendiente - Riesgo a la contaminación del agua subterránea por la entrada de contaminantes. - Riesgo a la exfiltración de agua subterránea a las tuberías del alcantarillado, a los sótanos u otras estructuras.
Jardines de biorretención	Captación y retención	0.80 – 1.00	- Puede integrarse fácilmente a cualquier desarrollo urbanístico. - Protege calidad del agua. - Reduce la escorrentía del agua de lluvia, para eventos frecuentes hasta de 40mm de precipitación. - Alta absorción durante las lluvias.	- Su eficiencia se reduce con eventos mayores a 40mm. Es mejor pasarlo a otros componentes aguas abajo. - Requiere pendientes <15% - No se recomienda para alta carga de sedimentos y finos.
Pavimentos permeables	Captación y retención	0.69 – 0.96	- Grandes áreas de cobertura. - Minimiza obras de drenaje superficial. - La capa de almacenamiento puede usarse para almacenar aguas captadas por otras superficies.	- Riesgo alto de contaminación de las aguas. - No se recomienda para pavimentos de tráfico pesado. - Si la estructura no cuenta con un buen diseño, tiene tendencia a la colmatación por la entrada de sedimentos durante y después de la construcción.
Alcorques - Contenedores de árboles	Captación y retención	0.60 – 0.80	- Elimina barreras arquitectónicas. - Altos tiempos de retención, menor caudal pico de aguas en la salida. - Solución localizada. - Moderador de clima.	- Riesgo de daño generado por raíces en las estructuras aledañas - Requiere control de las partículas finas para evitar colmatación. - No apto para regulación de altos volúmenes de aguas.

Tabla 1. *Ventajas y desventajas de las tipologías propuestas para la escala Edificio y/o propiedad.*
Fuente: *1EAAB (2018), 2Grupo de Ingeniería e infraestructura S.A.S. & Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) (2020), 3Martínez Candelo (2013), 4Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2010), 5Ministerio de Vivienda y Urbanismo & Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (1996), 6Molina León, Gutiérrez, & Salazar (2011), 7Pizarro Tapia, Flores Villanelo, Sangüesa Pool, & Martínez Araya (2004), 8Secretaría Distrital de Planeación (SDP) (2018), 9Trapote Jaume & Fernández Rodríguez (2016), 10Trujillo López & Quiroz Lasprilla (2013), 11Zanin, Bortolini, & Borin (2018), 12Eckart, Mcphee, & Bolisetti (2017), 13Lenhart & Hunt (2011), 14Lloyd, Wong, & Chesterfield (2014), 15Brown, Line, & Hunt (2012), 16Wilson, Hunt, Winston, & Smith (2015), 17Hunt, Smith, Jadlocki, Hathaway, & Eubanks (2008), 18CIRIA Norfolk Country Council (2015).*

Tipología	Sedimentos	Nutrientes	Bacteria	Metales
Techos azules	B	B	B	B
Tanques en muros, sótanos y exteriores	NA	NA	NA	NA
Zanjas filtrantes	A	A	A	A
Jardines de biorretención	A[v]	M	A**[v]	A*
Pavimentos permeables	A	M	M	M
Alcorques — Contenedores de árboles	A	M	B	M

**Jia et al. (2015), **Hathaway, Hunt, & Jadlocki (2009),*
****Lenhart & Hunt (2011),*
*****Lloyd et al. (2014), vClary, Jones, Leisenring, Hobson, & Strecker (2020).*

A (Alto) reducción de contaminante > 80%.
M (Moderado) reducción de contaminante entre 30% y 80%.
B (Bajo) reducción de contaminante < 25%.
NA: no aplica (el sistema no reduce el contaminante objetivo).

Tabla 2. *Reducción de contaminantes objetivo de cada tipología.*
Fuente: *adaptado de Massachusetts Department of Environmental Protection, 2008.*

VERSIÓN BORRADOR

Procesos para el manejo de la escorrentía

El potencial para el manejo de la escorrentía está determinado por los componentes de las tipologías de SUDS, aspectos considerados en el diseño y las características del lugar.

En esta medida, procesos que favorecen el tratamiento y atenuación de la escorrentía pueden estar limitados por el área disponible y las características del suelo.

En la tabla 3 se resumen procesos para el manejo de la cantidad y la calidad de la escorrentía que pueden tener lugar en estos sistemas.

Considerar estos procesos es útil para la selección y el diseño de las tipologías de SUDS de acuerdo con los requerimientos y oportunidades en un desarrollo urbano.

Procesos	Aprovechamiento	Conducción	Almacenamiento/ Detención	Tratamiento										Atenuación		
				Procesos físicos				Procesos biológicos			Procesos químicos					
				Filtración gruesa	Filtración y biofiltración	Sedimentación	Separación	Biodegradación	Nitrificación/ Desnitrificación	Captación por la vegetación	Adsorción/absorción	Precipitación	Volatilización	Infiltración	Intercepción	Evapotranspiración
Cubiertas verdes	N/A[2]	N/A[2]	P[2]	N/A[1]	P[1]	N/A[1]	S	P[2]	P[2]	P[1,2]	I[1,2]	P[2]	P[2]	N/A[2]	S	P[1]
Techos azules	S	N/A	P	N/A	N/A	S	I	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	I	N/A	N/A	P[6]
Tanques en muros, exteriores y sótanos	P	N/A	P	I	I	P	I	N/A	N/A	N/A[1]	N/A	N/A[2]	N/A	N/A[1]	N/A	N/A[1]
Zanjas filtrantes	N/A[2]	P[2]	P[2]	N/A	P[2]	N/A[2]	N/A	P[2]	N/A[2]	N/A[2]	P[2]	N/A[2]	P[2]	S[4]**	N/A	S[4]
Jardines de biorretención	N/A[2]	N/A[2]	P[2]	S[1]	P[1,2]	P[1,2]	S[3]	P[2]	P[2]	P[1,2]	S[4]*	P[2]	P[2]	P[1,2]**	S	S[1]
Pavimentos permeables	I[2]	N/A[2]	P[2]	N/A[1]	P[1,2,4]	S[1]	P	P[2,4]	N/A[2]	N/A[1]	S[4]*	N/A[2]	P[2]	P[1,2]**	N/A	N/A[1]
Alcorques	N/A	N/A	P	S	P	P	S	P	P	P[4]	S*	P	P	P**	P	P

P: Primario.
S: Secundario.
I: Incidental o dependiente del diseño.
N/A: No aplica

**Depende del medio.*
*** Pueden desarrollarse sistemas sin este proceso.*

Tabla 3. *Procesos para el manejo de la escorrentía en las tipologías de SUDS.*
Fuente: *1Urban Drainage and Flood Control District (2010), 2Woods Ballard et al. (2007), 3Venner, Strecker, Leisenring, Pankani, & Taylor (2013), 4CIRIA Norfolk Country Council (2015), 5Scholes, Revitt, & Ellis (2008), 6Philadelphia Water Department. (2015)*

6.3.

Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

VERSIÓN BORRADOR

El siguiente apartado muestra en detalle las recomendaciones generales para el diseño de los SUDS para la escala edificio y/o propiedad. Las recomendaciones de construcción y mantenimiento están presentadas en el capítulo 2 del tomo 1 de este Manual.

Respecto a las recomendaciones de diseño generales las cuatro etapas principales de diseño de los SUDS:

1. Definición de objetivos estratégicos para la gestión del agua.
2. Diseños conceptuales.
3. Diseños preliminares.
4. Diseños de detalle (CIRIA Norfolk Country Council, 2015), están descritas en detalle en el capítulo 2 del tomo 1 de este Manual.

A continuación, se presenta la descripción del diseño de las tipologías contempladas para el manejo sostenible del drenaje urbano para la escala Edificio y/o Propiedad, siguiendo las referencias presentadas en la tabla 4.

Tipología	Referencias
Materiales de cubierta	[1], [2]
Desconexión de zonas impermeables	[2], [3]
Tanques en muros, exteriores y sótanos	[2], [3]
Zanjas filtrantes	[2]
Jardines de bio retención	[2], [3]
Estacionamientos filtrantes	[2]
Áreas comunes – Diseño urbanístico orientado al agua	[2], [3]
Bordillos de cunetas y andenes	[3]
Alcorques – Contenedores de árboles.	[2], [3]

Tabla 4. *Metodologías para el diseño de tipologías de SUDS.*
Fuente: *[1] Stormwater Management Guidance Manual (Philadelphia Water Department, 2015). [2] Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). [3] Norma técnica NS-166 (EAAB, 2018)*

VERSIÓN BORR

Techos Azules

Los techos azules funcionan de forma similar a los techos verdes. Sin embargo, estos emplean gravas, materiales sintéticos o barreras de detención. Este sistema consiste en una capa de grava o material poroso con un volumen de almacenamiento temporal conectado a un sistema de drenaje. Para su diseño puede referirse al capítulo 4.6 del Manual para el manejo del agua lluvia (Stormwater Management Guidance Manual) de Philadelphia Water Department (2015).

En general se puede relacionar materiales altamente porosos que permitan la captación o retardo de las aguas colectadas en la cubierta, otros materiales a tener en cuenta según el Manual de SuDS de CIRIA Norfolk Country Council (2015) capitulo 12 sección 12.9 son:

- Membrana impermeable.
- Barrera de raíces.
- Barrera drenante.
- Barrera geotextil.
- Medio filtrante o de crecimiento (típicamente suelo).

Cobertura vegetal

Con respecto al cálculo de esta tipología se debe establecer primero el caudal deseado a captar o retardar. Luego se debe revisar las características drenantes del medio filtrante, porosidad, densidad, contenido de aire, pH, capacidad de saturación, contenidos orgánicos, granulometría y demás factores. Se debe comparar esta capacidad drenante con la capacidad del tanque o recepción inferior y asegurar que pueda hacerse una correcta captación o retardo de las aguas pluviales (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). La figura 10 muestra un diagrama para el diseño de esta tipología.

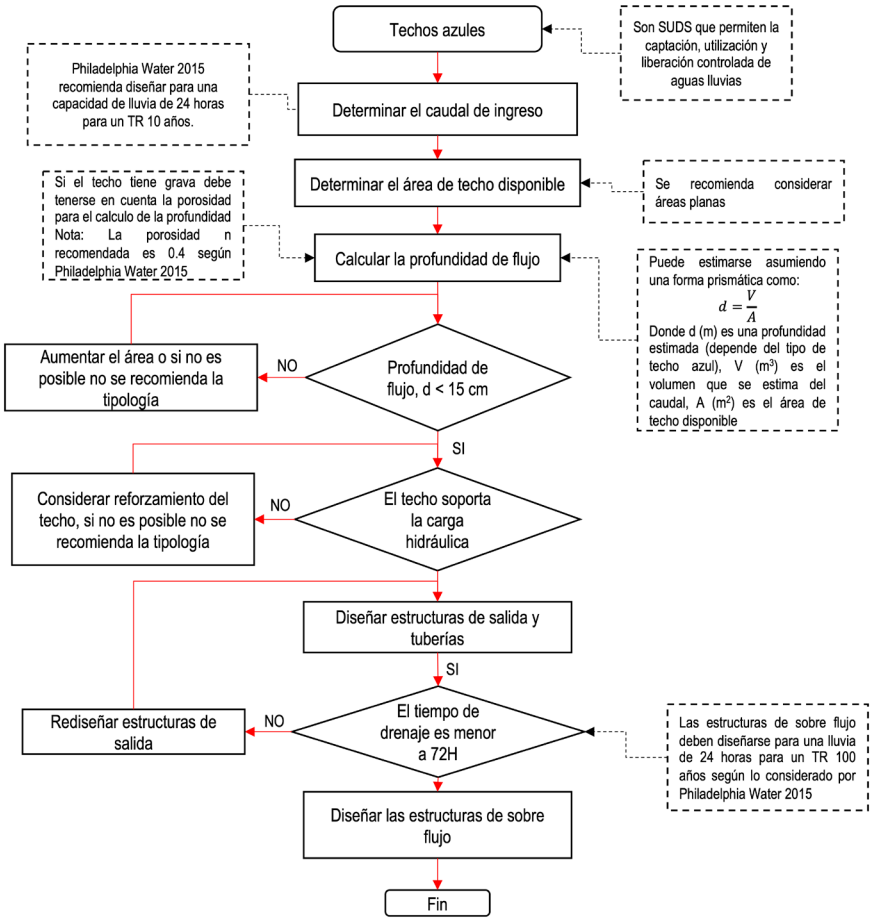


Figura 10. *Diagrama para el diseño de techos azules.*
Fuente: *Elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) y Philadelphia Water Department. (2015)*

Tanques en muros exteriores y sótanos

El diseño de tanques de almacenamiento tiene en cuenta parámetros de oferta y demanda de escorrentía. Por esta razón, se deben obtener los registros históricos de información pluviométrica del lugar a diseñar, establecer un promedio mensual multianual, caracterizar el área de drenaje y los coeficientes de escorrentía.

Para más información referirse a la norma técnica NS-166 (EAAB, 2018) sección 4.5.4. o al capítulo 11 de El Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

En la figura 11 se encuentra un diagrama para el diseño de esta tipología.

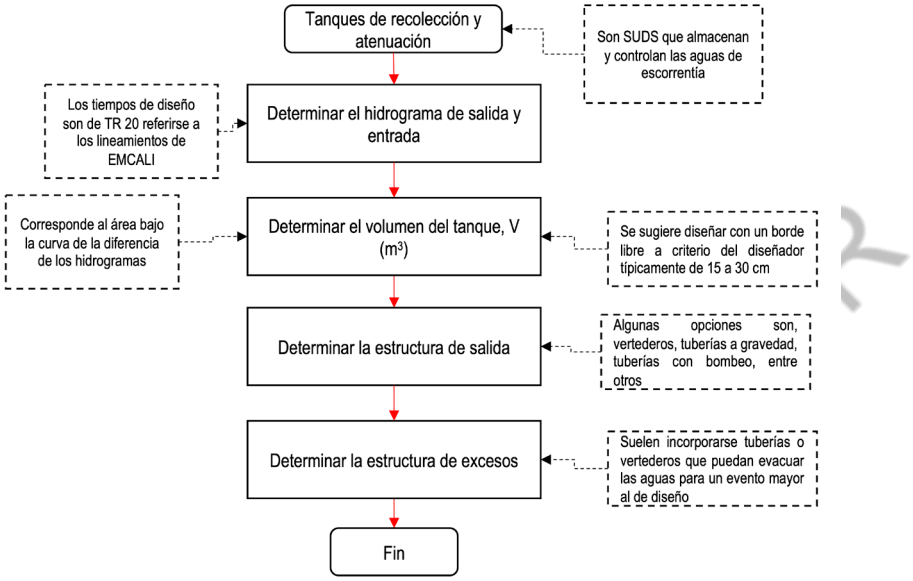


Figura 11. *Diagrama para el diseño de tanques.*
Fuente: *Elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) y EMCALI (2018a).*

VERSIÓN BORRADOR

Zanjas filtrantes

En esta tipología se considera un medio filtrante generalmente en grava. En función de la capacidad de filtración del suelo este sistema puede requerir o no un sistema de drenaje (tubería) que capta las aguas del medio filtrante.

Para el diseño de las zanjas de filtrantes el Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) da algunas recomendaciones generales:

- Profundidad entre 1.0 y 2.0 metros, mínimo 0.50 m para garantizar niveles razonables de remoción de contaminantes.
- Nivel de aguas freáticas admisible hasta 1.0 m por debajo del fondo de la base de la zanja.
- El ancho de la zanja depende generalmente del diámetro de la tubería y su respectivo recubrimiento.
- Se considera apropiado el uso de geotextiles y geomembranas.
- Pendiente máxima del 2.0 %, (o según requerimiento del medio filtrante, para garantizar velocidades de flujo).
- Apropiado para cuencas con áreas impermeables pequeñas.

Con base a estas recomendaciones, se deben considerar los tres elementos básicos que conforman este tipo de obras mencionados a continuación:

1. Diseño del material filtrante para una percolación adecuada, orientado a la calidad/ tratamiento del agua.
2. Diseño del material filtrante orientado a la retención del agua.

3. Diseño del sistema de tubería para convergencia y evacuación de las aguas captadas.

El diseño hidráulico puede realizarse considerando cuatro escenarios posibles intercepción, control de caudal pico, volumen de control y diseño por flujo en excesos.

Estos se encuentran descritos de manera general en el apartado 16.4 del El Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Donde a su vez el mismo manual se refiere a otros apartados que complementan la información y el método de diseño en cada uno de dichos escenarios. En el caso de esta tipología, es muy importante que se considere de manera detallada en el diseño las condiciones o elementos de entrada y salida del agua en el sistema, pues así mismo, se garantiza la durabilidad de este sistema.

En la figura 12 se encuentra un diagrama para el diseño de esta tipología.

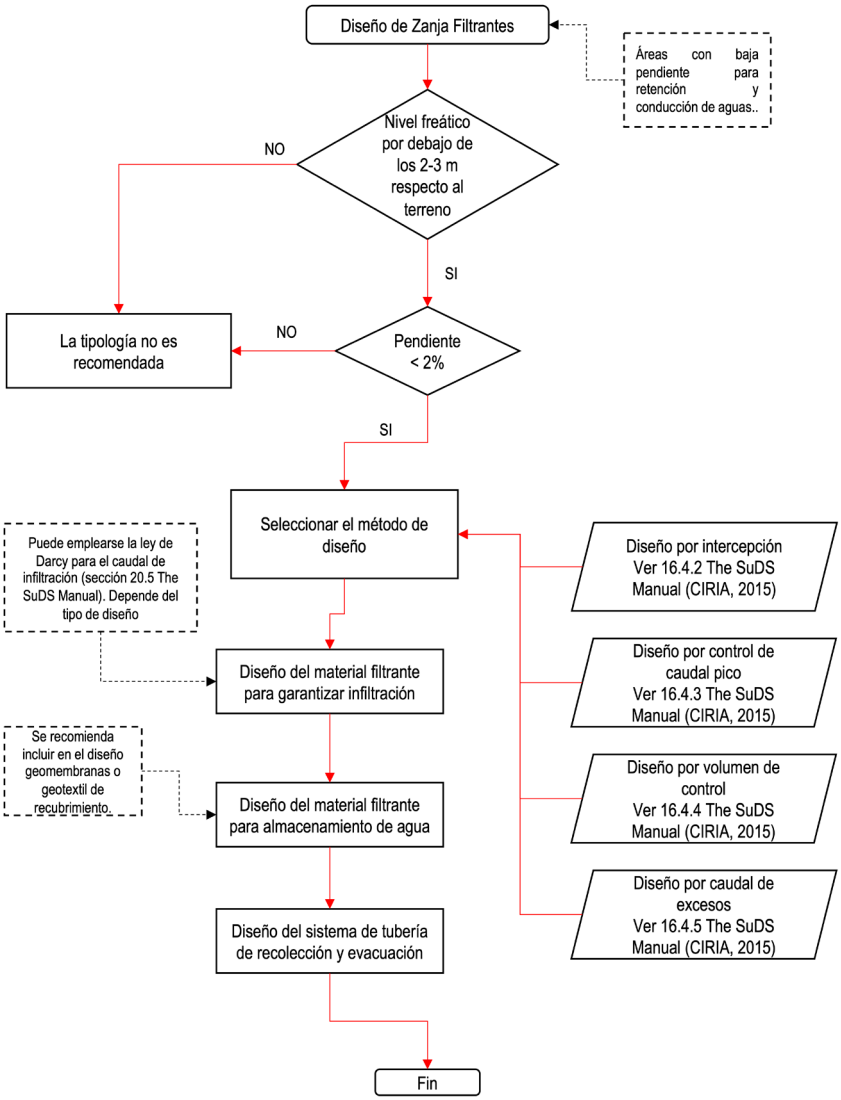


Figura 12. *Diagrama para el diseño de Zanjas filtrantes.*
Fuente: *Elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015)*

Jardines de Biorretención

En su diseño se toma en cuenta que esta estructura tiene como finalidad mejorar la calidad de las aguas y se trabaja mediante el uso de un volumen de calidad (Vc). Para su cálculo debe considerarse la profundidad de lámina de escorrentía (hWQCV), los coeficientes de escorrentía, el área ocupada por el jardín, y unos coeficientes de tiempo y propios de la tipología. La profundidad hWQCV se determina a partir de series de escorrentía, para el caso de Bogotá esto se desarrolló en la NS-166 (EAAB, 2018). Por lo tanto, se hace necesario para la ciudad de Cali realizar dicho análisis para poder aplicar esta metodología. También se debe tener en cuenta las consideraciones generales tomadas de El Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) para el diseño de estas estructuras. Entre ellas está que el área sugerida de captación y retención no sea mayor a 0.8 ha, las velocidades deben ser bajas para evitar la erosión, la zona de biorretención debe ser del 2 al 4% del área de captación para prevenir el taponamiento de la estructura. Deben ser diseñadas para flujo intermitente y para que sea autodrenante y autoaireante con el fin de evitar el desarrollo y crecimiento de moho, algas o biopelículas que taponen el jardín. En la figura 13 se encuentra un diagrama para el diseño de esta tipología.

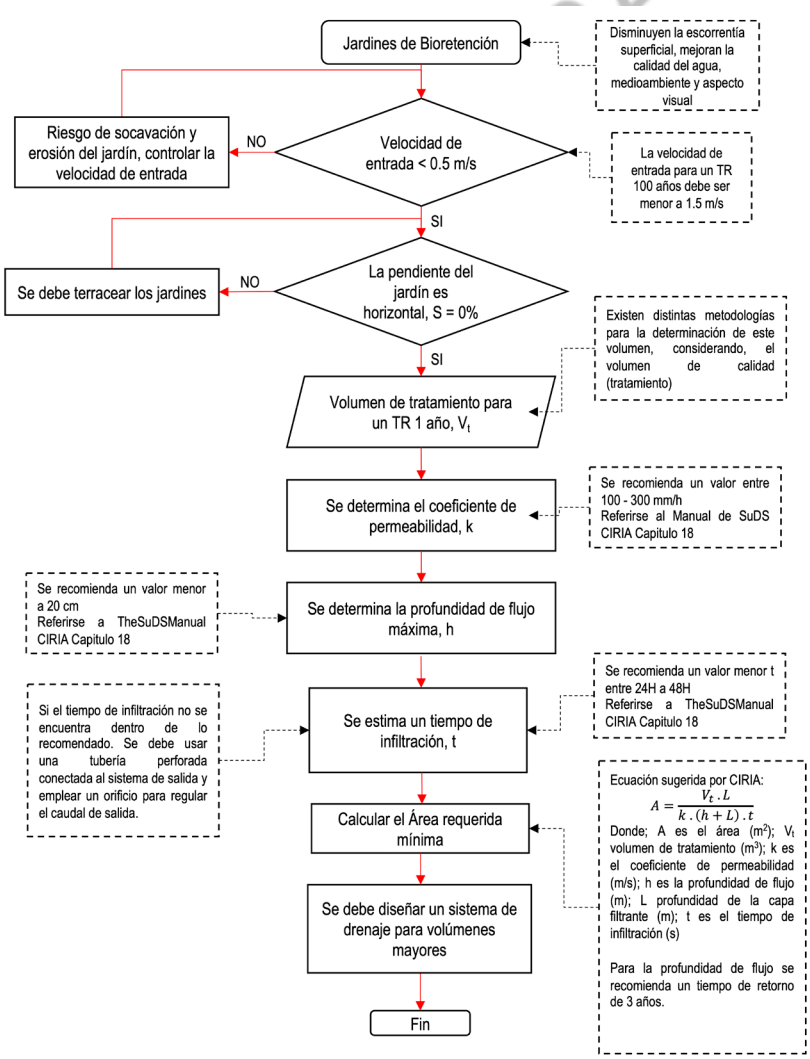


Figura 13. *Diagrama para el diseño de Jardines de Biorretención.*
Fuente: *Elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015)*

Pavimento permeable

Para diseñar un pavimento permeable se debe tener en cuenta el tipo de capa superior filtrante (ver Figura 18). Existen diferentes tipos de capas superiores para el funcionamiento del pavimento permeable, algunos son: pavimentos permeables modulares, asfaltos porosos, recubrimientos con pasto, gravas con refuerzo de resinas, concreto poroso, permeables macro, canchas deportivas y pavimento poroso tipo bloque.

Después de seleccionar el tipo de capa superior, se debe establecer el tipo de sistema a utilizar, tales como: Infiltración total, infiltración parcial y sin infiltración. Se debe tener en cuenta el área impermeable, el caudal de captación y el tipo de sistema a utilizar para conducir las aguas. Debe considerarse la capacidad de almacenamiento e infiltración de la capa superior, la resistencia de la capa requerida, la pendiente de diseño, si hay necesidad de escalones o presas internas. Para tener un mejor entendimiento de la selección del sistema se sugiere revisar al capítulo 20 del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) y para un detalle más específico referirse a la tabla 5.

En la figura 14 se encuentra un diagrama para el diseño de esta tipología.



Figura 14. *Ejemplos de capas superiores filtrantes de los sistemas de pavimentos permeables: eco-pavimento con ladrillo triturado (izquierda); neumático reciclado (centro); grama (derecho).*
Fuente: *Cortesía de Helechos S.A.S.*

Características del suelo		Tipo A: infiltración total	Tipo B: infiltración parcial	Tipo C: sin infiltración
Permeabilidad de la subrasante, definida por el coeficiente de permeabilidad k (m/s)	1×10^{-6} a 1×10^{-3}	✓	✓	✓
	1×10^{-8} a 1×10^{-6}	×	✓	✓
	1×10^{-10} a 1×10^{-8}	×	× (1)	✓
Nivel máximo de agua esperado dentro de los 1000 mm de la cota máxima de la subrasante.		×	×	✓
Contaminantes presentes en la subrasante.		×	×	✓
Condiciones del suelo para las que no recomienda la infiltración del agua (antiguas áreas de explotación minera, suelos con estructuras de disolución).		×	×	✓

Tabla 5. *Guía para la selección del tipo de sistema de pavimento.*
Fuente: *Adaptado de Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).*

Luego, se determina la porosidad de las capas permeables, y se establece el almacenamiento hidráulico requerido. El diseño de la sub-base debe tener en cuenta la porosidad y el almacenamiento hidráulico previamente determinado. Se debe comparar si las profundidades de las capas cumplen con la capacidad de drenaje requerida según especificaciones requeridas; en este proceso se requiere la consideración de todas las áreas adyacentes y cubiertas. Además, se debe tener en cuenta la pendiente, ésta determina la necesidad de construir presas internas o no, con base en la optimización de espacio de almacenamiento. Para más información referirse al capítulo 20 sección 20.5.1 del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Posteriormente, debe determinarse el tamaño de los orificios de descarga, estimarse el tiempo de vaciado medio, y se diseña la propuesta final; cada proceso está detallado en el capítulo 20 del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

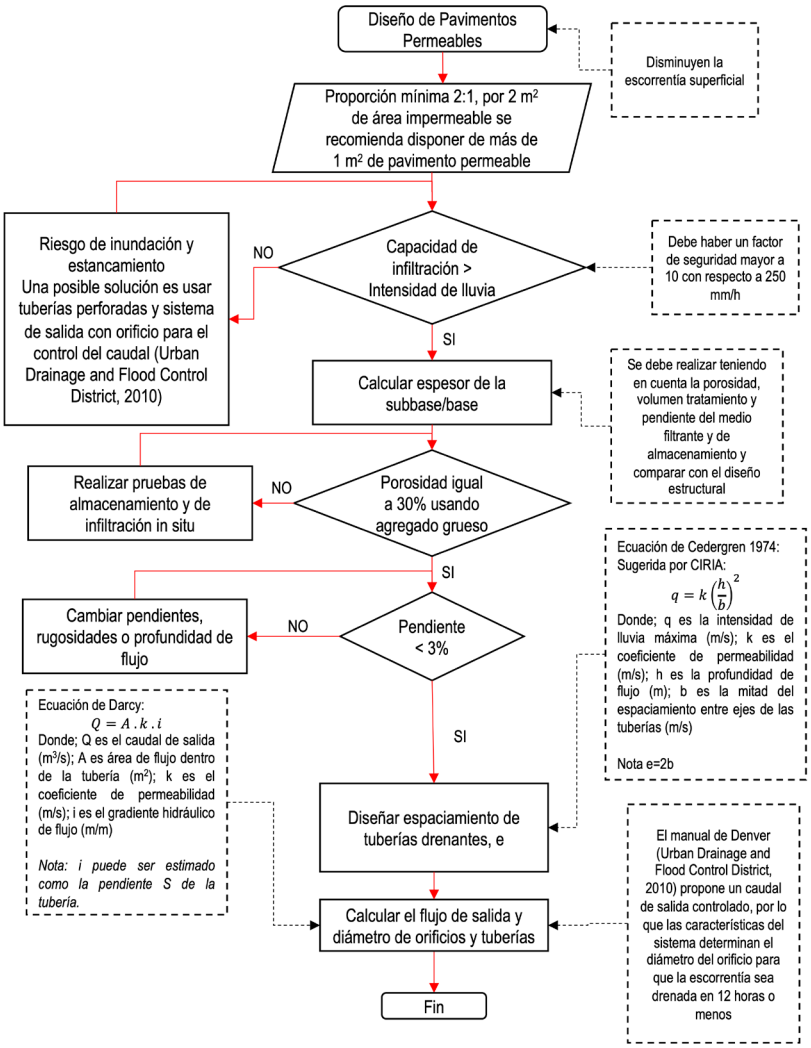


Figura 15. *Diagrama para el diseño de pavimentos permeables.*
Fuente: *elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015).*

Alcorques – contenedores de árboles

Los alcorques inundables, siendo contenedores de árboles, se consideran para áreas de drenaje que no sean muy grandes, dada la capacidad reducida de esta tipología.

Para el diseño de estas tipologías se recomienda considerar las restricciones propuestas en la NS-166 (EAAB, 2018), para el diseño de SUDS contempladas en la tabla 6.

Restricción	Valor	Unidades
Pendiente longitudinal	< 10	%
Distancia al nivel freático	> 1	m
Tasa de infiltración	> 7	mm/h
Distancia a cimientos	> 2	m

Tabla 6. *Restricciones del sitio para implementación de alcorques.*
Fuente: *EAAB, 2018.*

En el dimensionamiento se deberá considerar parámetros para la cuantificación de la cantidad de agua a regular. Es necesario determinar el área, coeficiente de escorrentía y profundidad de la lámina de agua de diseño, luego se calcula el volumen mínimo requerido para el alcorque. La profundidad de la estructura se determina considerando la profundidad del sustrato, un tiempo de vaciado del medio filtrante, la permeabilidad del suelo contenido y una porosidad acorde al tipo de sustrato.

Una vez determinadas las áreas, se debe considerar una profundidad de encharcamiento que permita reducir la cantidad de partículas gruesas sedimentadas, evitando la colmatación del sustrato. El agua podrá ser evacuada por medio de infiltración al suelo o bien empleando tuberías perforadas. Para ello se deben considerar escenarios distintos de volúmenes y tasas de evacuación de estas.

En la norma técnica NS-166 (EAAB, 2018), se encuentra disponible la metodología completa y sus respectivas ecuaciones para el diseño de esta tipología. Debe tenerse en cuenta que esta metodología depende del volumen de tratamiento, lo cual como se mencionó en la tipología de Jardines de Biorretención debe realizarse para Santiago de Cali. Aunque en el manual de CIRIA Norfolk Country Council (2015) capítulo 19 se especifican algunas consideraciones de diseño y ejemplos prácticos para esta tipología, se recomienda considerar los criterios de la empresa prestadora de servicios públicos. En este documento se contemplan condiciones que permiten garantizar la estabilidad y capacidad de la tipología.

En la figura 16 se encuentra un diagrama para el diseño de esta tipología.

VERSIÓN BORRADOR

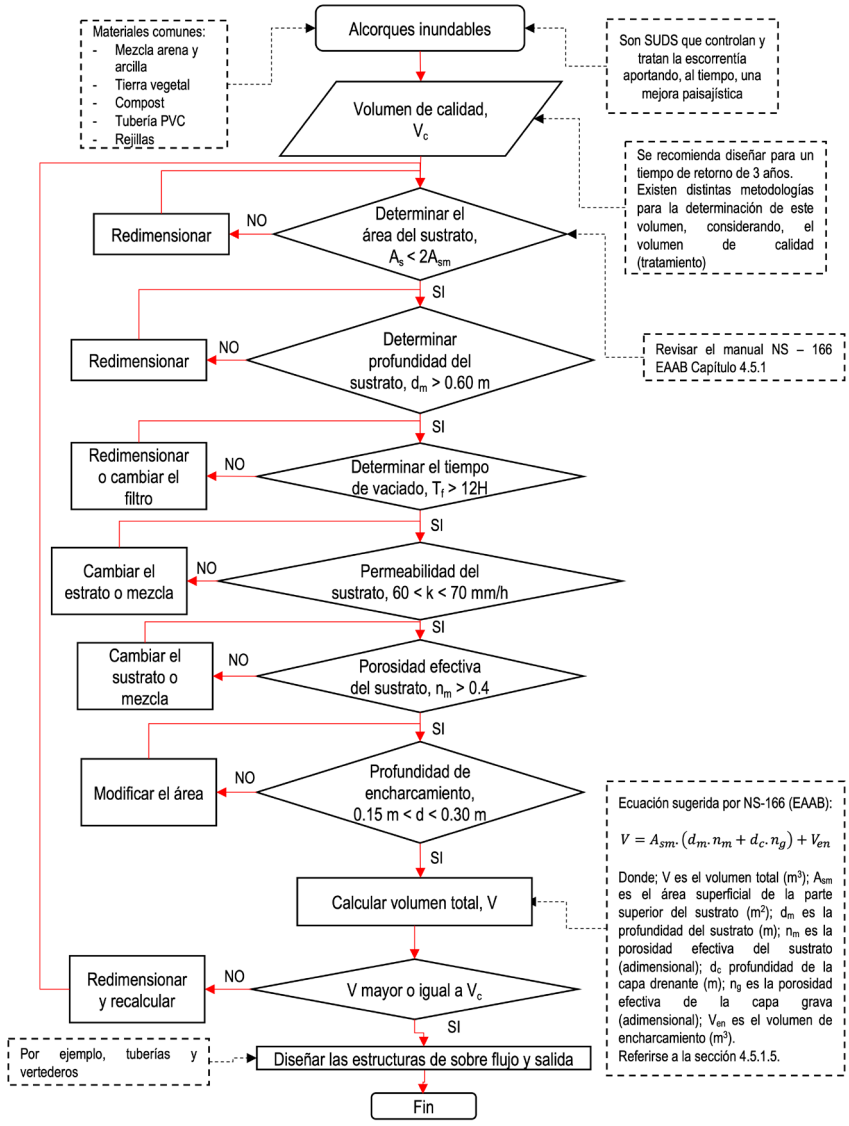


Figura 16. *Diagrama para el diseño de alcorques.*
Fuente: *elaborado a partir del Manual de SuDS (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) y NS-166 (EAAB, 2018).*

Evaluación económica

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores construcción edificios por promedio proyectos constructora.
Tabla 2. Porcentaje de incidencia en el presupuesto general estrategia sistema de aguas grises previo al vertimiento.
Tabla 3. Análisis precio unitario concreto 4000 psi tradicional.
Tabla 4. Análisis precio unitario concreto 4000 psi con RCD 30%.
Tabla 5. Relación costo de concreto tradicional vs. Concreto 30% RCD.
Tabla 6. Relación costo de concreto tradicional vs. Concreto con Nano partículas.
Tabla 7. Análisis precio unitario pintura tipo 1 a 3 manos.
Tabla 8. Análisis precio unitario vinilo tipo VOC´S.
Tabla 9. Relación costo de pintura normal vs Pintura Baja VOC'S.
Tabla 10. Precios unitarios de la cubierta Reguladora de aguas lluvias.
Tabla 11. Porcentaje de incidencia de la cubierta reguladora de aguas lluvias en el presupuesto general.
Tabla 12. Precios unitarios del jardín sema-hidropónico.
Tabla 13. Porcentaje de incidencia del jardín vertical sema-hidropónico en el presupuesto general.
Tabla 14. Porcentaje de incidencia de la implementación de biodiesel.
Tabla 15. Precios unitarios de anden en concreto 3000 psi.
Tabla 16. Precios unitarios de adoquín en concreto peatonal.
Tabla 17. Porcentaje incidencia en el presupuesto general, implementación adoquín en anden peatonal.
Tabla 18. Relación costo en la implementación de aleros.
Tabla 19. Relación costo en la implementación de quiebra soles.
Tabla 20. Análisis de precio unitario de alero 30 cm en superboard 10 mm con estructura metálica.
Tabla 21. Análisis precio unitario alero 70 cm en superboard 10 mm con estructura metálica.
Tabla 22. Análisis quiebrasol 30 cm en superboard de 10 mm y estructura metálica.
Tabla 23. Análisis quiebrasol 70 cm en superboard de 10 mm y estructura metálica.
Tabla 24. Modelación inicial 25% RVP.
Tabla 25. Modelación 31% RVP.
Tabla 26. Relación de costos implementación estrategia de VENTANERÍA.
Tabla 27. Análisis precio unitario muro en bloque de concreto.
Tabla 28. Análisis precio unitario muro en ladrillo limpio en soga a una cara.
Tabla 29. Análisis precio unitario VENTANERÍA en perfilería 50-20.
Tabla 30. Relación de costos implementación estrategia de VENTANERÍA respecto a mampostería.
Tabla 31. Precios unitarios de la cubierta Laminar Herbácea Perenne.
Tabla 32. Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar con herbáceas perennes en el presupuesto.
Tabla 33. Análisis precio unitario concreto 4000 psi tradicional.
Tabla 34. Análisis precio unitario concreto 4000 psi con 30% RCD.
Tabla 35. Relación costo de concreto tradicional vs. Concreto 30% RCD.
Tabla 36. Relación costo de concreto tradicional vs. Concreto con nanopartículas.
Tabla 37. Análisis de precio unitario de vinilo de muro tipo 1 (3m).
Tabla 38. Análisis de precio unitario de vinilo bajo VOC'S de muro tipo 1 (3m).
Tabla 39. Relación de costos por la implementación de la estrategia de pintura baja VOC'S.
Tabla 40. Relación de costos por la implementación sistema de recirculación de aguas grises.
Tabla 41. Relación de costos por la implementación sistema de recirculación de aguas grises.
Tabla 42. Relación de costos por la implementación sistema de recirculación de aguas lluvias.
Tabla 43. Relación de costos por la implementación sistema de recirculación de aguas lluvias.
Tabla 44. Apu tanque de agua plástico de 2000 lats.

Tabla 45. Apu Bomba sumergible tipo lapicero de 15 HP.
Tabla 46. Porcentaje incremento al presupuesto general, estrategia sistema agua previa al vertimiento.
Tabla 47. Porcentaje incremento al presupuesto general, estrategia sistema agua previa al vertimiento.
Tabla 48. Porcentaje incremento al presupuesto general, estrategia sistema aguas negras previa al vertimiento.
Tabla 49. Análisis de precio unitario de medidor monofásico.
Tabla 50. Porcentaje de incidencia del medidor de zonas comunes en el presupuesto general.
Tabla 51. Análisis de precio unitario de transformador de monitoreo.
Tabla 52. Porcentaje de incidencia del transformador de zonas comunes en el presupuesto general.
Tabla 53. Porcentaje de incidencia variadores de frecuencia en el presupuesto general.
Tabla 54. Análisis de precio unitario del sensor de movimiento.
Tabla 55. Porcentaje de incidencia de los sensores de movimiento de zonas comunes en el presupuesto general.
Tabla 56. Análisis de precio unitario de lámpara solar exterior.
Tabla 57. Análisis de precio unitario de lámpara exterior 30W.
Tabla 58. Porcentaje de incidencia de las lámparas exteriores en el presupuesto general.
Tabla 59. Porcentaje de incidencia variadores de frecuencia en el presupuesto general.
Tabla 60. Análisis de precio unitario de punto de carga eléctrico.
Tabla 61. Porcentaje de incidencia del punto de carga en el presupuesto general.
Tabla 62. Porcentaje de incidencia calentador de agua solar en el presupuesto general.
Tabla 63. Análisis de precio unitario del transformador de monitoreo.
Tabla 64. Análisis de precio unitario del panel solar de 400Vatios.
Tabla 65. Análisis de precio unitario del micro inversor.
Tabla 66. Porcentaje de incidencia del sistema hibrido para todos los aptos en el presupuesto general.
Tabla 67. Precios unitarios de la cubierta dura transitable peatonal.
Tabla 68. Porcentaje de incidencia de la cubierta peatonal en el presupuesto general.
Tabla 69. Precios unitarios de vía en mezcla asfáltica.
Tabla 70. Precios unitarios de la cubierta dura transitable vehicular.
Tabla 71. Porcentaje de incidencia de la cubierta dura vehicular en el presupuesto general.
Tabla 72. Precios unitarios de la cubierta Laminar Herbácea Perenne.
Tabla 73. Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar herbácea en el presupuesto general.
Tabla 74. Precios unitarios de la cubierta Laminar SEDUM.
Tabla 75. Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar sin riego en el presupuesto general.
Tabla 76. Precios unitarios de la cubierta Laminar SEDUM.
Tabla 77. Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar sedum en el presupuesto general.
Tabla 78. Precios unitarios de la cubierta Laminar con arborización.
Tabla 79. Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar con arborización en el presupuesto general.
Tabla 80. Precios unitarios de la cubierta Reguladora de aguas lluvias.
Tabla 81. Porcentaje de incidencia de la cubierta reguladora de aguas lluvias en el presupuesto.
Tabla 82. Precios unitarios de la cubierta Laminar Herbácea Perenne.
Tabla 83. Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar con herbáceas perennes en el presupuesto.
Tabla 84. Precios unitarios de la cubierta Laminar con arborización.
Tabla 85. Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar con arborización en el presupuesto general.
Tabla 86. Precios unitarios de la cubierta Reguladora de aguas lluvias.
Tabla 87. Porcentaje de incidencia de la cubierta reguladora de aguas lluvias en el presupuesto.
Tabla 88. Precios unitarios de la cubierta Reguladora de clima urbano.
Tabla 89. Porcentaje de incidencia de la cubierta reguladora de clima urbano en el presupuesto.
Tabla 90. Precios unitarios de la cubierta dura transitable peatonal.

Tabla 91. Porcentaje de incidencia de la cubierta dura transitable peatonal en el presupuesto general.
Tabla 92. Precios unitarios de la cubierta Laminar SEDUM.
Tabla 93. Precios unitarios de la cubierta Reguladora de aguas lluvias.
Tabla 94. Porcentaje de incidencia de la cubierta biodiversa en el presupuesto general.
Tabla 95. Precios unitarios de la cubierta Reguladora de clima urbano.
Tabla 96. Porcentaje de incidencia de la cubierta reguladora de clima urbana en el presupuesto.
Tabla 97. Precios unitarios del jardín con enredadera sobre muros.
Tabla 98. Porcentaje de incidencia de la enredadera sobre muros en el presupuesto general.
Tabla 99. Precios unitarios del jardín con enredadera sobre e. metálicas.
Tabla 100. Porcentaje de incidencia de la enredadera sobre estructuras metálicas en el presupuesto.
Tabla 101. Precios unitarios del jardín con enredadera sobre guayas.
Tabla 102. Porcentaje de incidencia de la enredadera sobre guayas en el presupuesto general.
Tabla 103. Precios unitarios del jardín hidropónico.
Tabla 104. Porcentaje de incidencia del jardín vertical hidropónico en el presupuesto general.
Tabla 105. Precios unitarios del jardín hidropónico.
Tabla 106. Porcentaje de incidencia del jardín vertical hidropónico en el presupuesto general.
Tabla 107. Precios unitarios del jardín sema-hidropónico.
Tabla 108. Porcentaje de incidencia del jardín vertical sema-hidropónico en el presupuesto general.
Tabla 109. Precios unitarios del jardín sema-hidropónico.
Tabla 110. Porcentaje de incidencia del jardín vertical sema-hidropónico en el presupuesto general.
Tabla 111. Precios unitarios del jardín sobre guayas.
Tabla 112. Precios unitarios del jardín sema-hidropónico.
Tabla 113. Porcentaje de incidencia del jardín vertical sema-hidropónico y sobre guayas en el presupuesto general.
Tabla 114. Precios unitarios del jardín sema-hidropónico.
Tabla 115. Porcentaje de incidencia del jardín vertical sema-hidropónico en el presupuesto general.
Tabla 116. Precios unitarios del jardín sema-hidropónico.
Tabla 117. Porcentaje de incidencia del jardín vertical sema-hidropónico en el presupuesto general.
Tabla 118. Precios unitarios de la cubierta dura transitable peatonal.
Tabla 119. Porcentaje de incidencia de la cubierta dura transitable peatonal en el presupuesto general.
Tabla 120. Porcentaje de sistema de recirculación de aguas lluvias, con tanque en muros exteriores y sótanos, en el presupuesto general.
Tabla 121. Precios unitarios de vía en mezcla asfáltica.
Tabla 122. Precios unitarios de adoquín en concreto vehicular.
Tabla 123. Porcentaje de incidencia de la cubierta dura vehicular en el presupuesto general.
Tabla 124. Análisis de implementación de estrategia 0 vs. Impacto general y económico.
Tabla 125. Análisis de implementación de estrategia 0 y 1 vs. Impacto general y económico.
Tabla 126. Análisis de implementación de estrategia rural vs. Impacto general y económico
Tabla 127. Análisis de implementación de estrategia urbana vs. Impacto general y económico.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perspectivas del edificio modulación 1:2 en relación largo — ancho.
Figura 2. Distribución interna edificio.

VERSIÓN BORRADOR

C.

Evaluación económica

VERSIÓN BORRADOR

En este capítulo se realiza un análisis del impacto económicos sobre el costo directo de obra, de las acciones de construcción sostenible contenidas en el Manual. Esta información se construyó para ayudar a poderar el impacto en la sosteniblidad económica del proyecto de cada una de las estrategías y poder ponderar de manera diferencial cada uno de los items. Así mismo, se busca que esta información sirva como insum en la toma de decisiones de los diseñadores y constructores que pretenden postular sus proyectos al Sello Cali Construye Sostenible, con el propósito de obtener los incentivos ofrecidos por la administración distrital.

Para realizar el análisis del proyecto se obtuvo información presupuestal de dos proyectos de una constructora local, estos tenían características similares a los planteados en la línea base de la Resolución 0549.

De aquí se sacaron porcentajes de carga presupuestal de cada uno de los ítems (ver tabla 1). Además se discriminaron los diferentes APUs necesarios para este análisis y se extrajo de Construdata el valor por metro cuadrado de Vivienda VIS para Santiago de Cali en 2020 como indicador para el precio por m² de construcción.

Después de hacer el análisis de cada estrategia y calcular su incidencia en el presupuesto, se cruza esta información con la valoración dada por cada uno de los expertos y así crear varias estrategias, estas son: a) estrategia 0; b) estrategia 0 y 1; c) estrategia rural y d) estrategia urbana. El área del lote del proyecto es de 15000 m², para el bloque de vivienda VIS (DTS) las medidas de implantación del proyecto de vivienda son 39 m de largo por 19,5 m de ancho, el área por piso de 760,5 m² y en total de construcción en 5 pisos es 3802,5 m², el área estimada por vivienda es de 62,12 m². (Ver figura 1 y 2).

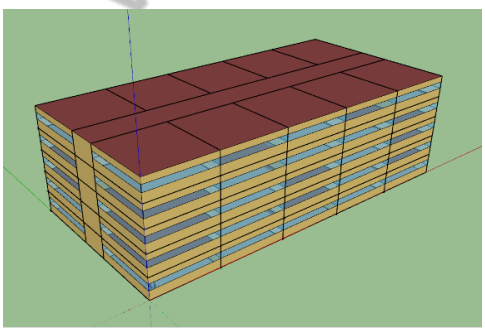


Figura 1. *Perspectiva del edificio modulación 1:2 en relación largo- ancho.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

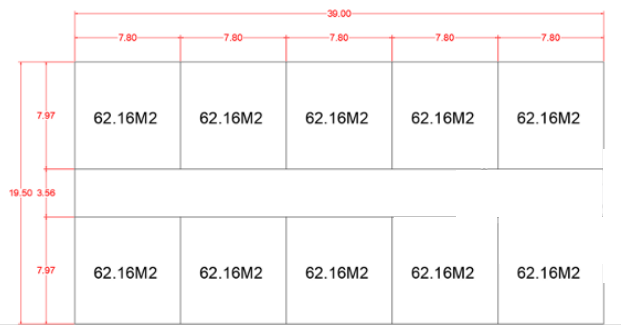


Figura 2. *Distribución interna edificio.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VALOR M2 MULTIFAMILIAR VIS CALI 2020 (CONSTRUDATA)			$ 1,318,495.00
		ÁREA TOTAL EDIFICIO	3,802.50
		COSTO EDIFICIO	5,013,577,237.50
DESCRIPCIÓN	PROYECTO 1	PROYECTO 2	
CAPITULO	PORCENTAJE DE INCIDENCIA	PORCENTAJE DE INCIDENCIA	PROMEDIO
No. 1 LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	0.06	0.06	0.06
No. 2 MOVIMIENTO DE TIERRAS OBRA NEGRA	2.23	1.75	1.99
No. 3 CIMENTACIÓN	4.06	3.96	4.01
No. 4A ESTRUCTURA MUROS	8.54	8.24	8.39
No. 4B ESTRUCTURA LOSAS	14.93	14.40	14.67
No. 5 MAMPOSTERÍA	0.4	3.24	1.82
No. 6 SISTEMAS LIVIANOS	1.54	1.20	1.37
No. 7 PREFABRICADOS / ACCESORIOS	0.76	0.65	0.71
No. 8 REPELLOS	0.26	0.19	0.23
No. 9 INST. SANITARIAS	1.84	2.59	2.22
No. 11 INST. HIDRÁULICAS A.FRÍA	0.8	0.76	0.78
No. 12 INST. HIDRÁULICAS A.CALIENTE	0.2	0.22	0.21
No. 13 INST. ELÉCTRICAS INTERNAS	3.33	3.93	3.63
No. 14 CUBIERTAS	2.38	3.40	2.89
No. 15 CIELOS FALSOS	1.2	0.26	0.73
No. 16 PISOS	4.99	4.43	4.71
No. 17 ENCHAPES	0.18	0.13	0.16
No. 18 IMPERMEABILIZACIONES	1.27	1.42	1.35
No. 19 PINTURAS	3.7	3.58	3.64
No. 20 VENTANERIA ALUMINIO Y PVC	3.32	3.31	3.32
No. 21 CARPINTERÍA METÁLICA / ALUMINIO	2.98	2.40	2.69
No. 22 CARPINTERÍA DE MADERA	0.4	0.34	0.37
No. 25 PORCELANA SANITARIA / APARATOS DE BAÑOS / ACCESORIOS	0.72	0.70	0.71
No. 26 APARATOS DE COCINA Y OFICIOS	1	1.08	1.04
No. 27 EQUIPOS ESPECIALES / TRANSPORTES	2.24	1.30	1.77
No. 29 ASEO Y DETALLADO	1.12	1.16	1.14
No. 30 PRELIMINARES	1.85	0.73	1.29
No. 31 ZONAS VERDES (PARQUES)	0.91	0.71	0.81
No. 32 VÍAS, ANDENES Y SARDINELES	3.49	2.20	2.85
No. 34 PARQUEADEROS VISITANTES	0.24	0.32	0.28
No. 36 INST. ELÉCTRICAS COMÚN	6.17	6.21	6.19
No. 37 RED ALCANT. SANITARIO INTERNO	0.67	0.73	0.70
No. 38 RED ALCANT. PLUVIAL INTERNO	1.21	0.85	1.03
No. 40 RED DE ACUEDUCTO INTERNA	1.01	0.93	0.97
No. 41 RED CONTRA INCENDIO	2.04	1.66	1.85
No. 43 RED DE GAS	1.38	1.40	1.39
No. 44 TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1.73	1.51	1.62
No. 46 PORTERÍA Y UAR	1.37	0.62	1.00
No. 47 SALÓN SOCIAL	0.94	0.76	0.85
No. 48 PISCINAS	1.59	1.06	1.33
No. 49 OTRAS ZONAS COMUNES	0.27	0.14	0.21
No. 50 CERRAMIENTOS	1.47	1.02	1.25
No. 51 VARIOS URBANISMO	0.28	0.26	0.27
No. 59 URBANISMO EXTERNO	1.28	8.13	4.71
No. 60 GASTOS GENERALES	3.06	2.23	2.65
No. 62 VIVIENDA MODELO	0	0.00	0.00
No. 63 ALQUILER Y COMPRA DE EQUIPO	0	0.00	0.00
No. 70 ADMINISTRACIÓN DE OB	4.59	3.83	4.21
Total Costos Directos	100	100	100

VERSIÓN BORRADOR

Tabla 1. *Indicadores construcción edificios por promedio proyectos constructora.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Urbanismo Sostenible
Sistemas a implementar – Estrategias (Capítulo 1 – Tomo I)

US.1. EDIFICABILIDAD

US.1.1. Proyecto ubicado en suelo urbano:

Afecta positivamente en el impacto económico, se disminuyen los gastos de instalaciones hidráulicas e hidrosanitarias, ya que las redes se encuentran instaladas normalmente frente al proyecto, para este caso de análisis los proyectos analizados son en zona urbana y no se incrementan en el presupuesto.

US.1.2. Reducción índice de ocupación:

Si se reduce el índice de ocupación, pero no el de construcción, permitiría a la ciudad densificar en altura y hacer uso adecuado de las redes, y no afectaría el costo del proyecto, por lo tanto, no hay afectación económica.

US.1.3. Aprovechamiento del índice de construcción máximo permitido:

No se ve afectación económica en el presupuesto general del proyecto, por lo contrario, se vería afectado de manera negativa si no se utiliza toda el área permitida para construir.

US.1.4. Edificación de usos mixtos:

La edificación en uso mixto se implementa desde la concepción del proyecto y no afecta económicamente el presupuesto.

US.1.5. Reciclaje/re-uso de edificación existente:

El reúso de construcciones existentes no implica afectación económica normalmente este tipo de decisiones se toman en la concepción del proyecto y están incluidas en el presupuesto.

US.2. RIESGO

US.2.1. Control de zonas en amenaza / riesgo:

Desde la planeación del proyecto se debe garantizar que los proyectos no se encuentren en este tipo de zonas, desde la obtención del permiso de construcción, planeación municipal debe estar a cargo de los debidos permisos en esas zonas, no se ve afectación económica.

US.3. VERDE URBANO

US.3.1. Consolidación de bosques urbanos en verde urbano:

Esta estrategia se implementa desde la etapa de diseño arquitectónico del proyecto, debe estar contemplada en el urbanismo y no afecta económicamente el proyecto, en algunos proyectos es un valor agregado.

US.3.2. Espacio público superficies vegetadas:

No afecta de forma negativa en el presupuesto general del proyecto, ya que está contemplado en la etapa de diseño del urbanismo normalmente implementado en las áreas de cesión del proyecto.

U.S.3.3. Especies arbóreas adaptadas a condiciones climáticas:

No afecta de forma negativa en el presupuesto general del proyecto, ya que está contemplado como estrategia de diseño en el urbanismo.

VERSIÓN BORRADOR

US.4. SOCIAL

US.4.1. Acceso a equipamientos colectivos:

Los proyectos de vivienda normalmente tienen como estrategia de diseño acceso a equipamientos colectivos, por lo cual esta estrategia no afecta el costo del proyecto.

US.4.2. Vinculación social al proyecto:

La vinculación social es habitual en proyectos rurales, se desarrollan estrategias de diseño arquitectónico que involucre positivamente a las personas del sector, no se afecta económicamente el proyecto.

US.4.3. Vinculación laboral de personas residentes en el entorno:

La vinculación laboral de las personas residentes en el entorno facilita el desarrollo del proyecto, pero no lo afecta económicamente.

US.5. MOVILIDAD

US.5.1 Construcción de ciclo banda en cantidad y calidad óptima:

No afecta económicamente el proyecto, se implementan desde la etapa de diseño del urbanismo y está incluido en el presupuesto general.

US.5.2. Construcción de sendas peatonales en cantidad y calidad óptima:

No afecta económicamente el proyecto, se implementan desde la etapa de diseño del urbanismo y está incluido en el presupuesto general.

US.5.3. Acceso al sistema de transporte:

En el diseño de los proyectos de vivienda, se incluyen estrategias que permiten la conexión al sistema de transporte de la ciudad, está incluido en el presupuesto y no afecta económicamente el proyecto.

US.5.4. Parqueaderos compactos:

No afecta económicamente el proyecto, se implementan desde la etapa de diseño del urbanismo y está incluido en el presupuesto general.

US.5.5. Inclusión de ciclo parqueaderos adicionales:

Los proyectos habitacionales cada vez más incluyen en sus diseños ciclo parqueaderos que permitan a sus propietarios conectarse con las ciclo vías implementadas en la ciudad, Afecta directamente el costo directo de obra porque requiere más m².

US.6. ENERGÍA

US.6.1 Alumbrado público eficiente calidad/cantidad de luz:

Para el alumbrado público tanto en proyectos privados como públicos, se adquieren tecnologías más eficientes, con mayor calidad y cantidad de luz, el precio de estos cada vez mejora, para el presupuesto inicial de obra se analizan estas, por lo tanto, el implementarlas no tiene un costo adicional.

VERSIÓN BORRADOR

U.S6.2. Implementación o consumo energético de distritos térmicos (agua helada, agua caliente, vapor):

Para esta estrategia se obtendrá energía térmica, estas energías se aprovecharán en sistemas de refrigeración y/o calefacción, permitiendo ahorros considerables en su operación, lo cual no incrementa el presupuesto.

US.7. AGUA

US.7.1. Infraestructura urbana para la reutilización de agua lluvia:

En esta estrategia se potencializa el manejo de las curvas de nivel del proyecto o de la zona a impactar y se intenta hacer libre circulación del agua lluvia, utilizando está en jardines o lagos artificiales que mejoran el urbanismo del proyecto, esta se incluye en el diseño y no tiene afectación económica para el proyecto.

US.7.2. Tratamiento de agua residual antes de entrega a fuente hídrica:

Para calcular este se asumen equipos eficientes del manual, se plantea un sistema sugerido por en el componente hídrico similar una piscina gigante con pendiente llena de arenas, gravas, gravillas, y plantas, paredes impermeabilizadas, control de transpiración y control de humedad de especies, para un caudal de 30m³ /diarios totales de aguas grises (aprox. Por la cantidad de 50 apartamentos, proveniente de duchas, lavamanos y lavadoras caudal de 0.347 lts/seg) con relación a un proyecto de referencia, aproximadamente $ 48'100.000 precio del sistema de tratamiento, este agua será para usar riego y uso no potable.

Para el cálculo de esta estrategia se tomaron las recomendaciones del Capítulo 3 del tomo II de este Manual y se incrementó un 30% del valor de las instalaciones sanitarias. Ver tabla 2.

US.8. MATERIALES

US.8.1. Reemplazo de agregados naturales por reciclados y cementantes suplementarios:

En esta estrategia se ve una afectación económica favorable para el proyecto, a continuación, se exponen los precios totales por m³ en los APUS discriminados de la Mezcla de concreto con material de cantera y la Mezcla de concreto con 30% de RCD, además como afecta de manera positiva en el presupuesto general del proyecto con el porcentaje de incidencia, los precios de materiales RCD fueron obtenidos de empresas del sector que procesan estos materiales ver tablas 3, 4 y 5.

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA AGUAS GRISES PREVIO AL VERTIMIENTO		
Precio sistema tratamiento	$	48,100,000.00
Precio aprox 30% tubería sanitaria	$	10,528,512.20
valor adicional del presupuesto	$	58,628,512.20
% incremento Presupuesto general	$	1.17

Tabla 2. *Porcentaje de incidencia en el presupuesto general estrategia sistema de aguas grises previo al vertimiento.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

MEZCLA CONCRETO 1:2:1 4000 PSI - 28,0 Mpa					Unidad: M3 ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
AGUA	LTS	210	0.03	18.00	3,781.13
ARENA GRUESA	M3	0.87	0.03	35,500.00	30,894.26
GRAVA TRITURADA .3/4	M3	0.47	0.03	58,000.00	27,268.17
GASOLINA CORRIENTE	GLN	0.1		9,700.00	970.00
CEMENTO GRIS	KLS	480		500.00	240,000.00
ACEITE MOTOR 4 TIEMPOS	GLN	0.006		76,000.00	456.00
				SUBTOTAL MATERIALES	303,369.56
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 3 AYUDANTE	HC	1.1		24,327.00	26,759.70
MANO OBRA OFICIAL ALBANILERIA	HRS	0.5		8,962.00	4,481.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	31,240.70
EQUIPO					
MEZCLADORA DE 9 PIES CUBICOS	DIA	0.081		38,800.00	3,142.80
HERRAMIENTA MENOR	GLB	3.4759		1,600.00	5,561.44
				SUBTOTAL EQUIPO	8,704.24
OTROS					
				SUBTOTAL OTROS	-
			COSTO DIRECTO	343,314.50	343,315.00

Tabla 3. *Análisis precio unitario concreto 4000 psi tradicional.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

MEZCLA CONCRETO 1:2:1 4000 PSI - 28,0 Mpa RCD					Unidad: M3 ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
AGUA	LTS	210	0.03	18.00	3,781.13
ARENA GRUESA RCD 30%	M3	0.26	0.03	10,000.00	2,678.00
ARENA GRUESA 70%	M3	0.61	0.03	35,500.00	22,304.65
GRAVA TRITURADA .3/4 RCD 30%	M3	0.14	0.03	7,000.00	1,009.40
GRAVA TRITURADA 3/4 70%	M3	0.33	0.03	58,000.00	19,714.20
GASOLINA CORRIENTE	GLN	0.1		9,700.00	970.00
CEMENTO GRIS	KLS	480		500.00	240,000.00
ACEITE MOTOR 4 TIEMPOS	GLN	0.006		76,000.00	456.00
				SUBTOTAL MATERIALES	290,913.38
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 3 AYUDANTE	HC	1.1		24,327.00	26,759.70
MANO OBRA OFICIAL ALBANILERIA	HRS	0.5		8,962.00	4,481.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	31,240.70
EQUIPO					
MEZCLADORA DE 9 PIES CUBICOS	DIA	0.081		38,800.00	3,142.80
HERRAMIENTA MENOR	GLB	3.4759		1,600.00	5,561.44
				SUBTOTAL EQUIPO	8,704.24
OTROS					
				SUBTOTAL OTROS	-
			COSTO DIRECTO		330,858.32

Tabla 4. *Análisis precio unitario concreto 4000 psi con RCD 30%.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

LOSAS EN CONCRETO (M3)					
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ESPESOR (M)	CANTIDAD	TOTAL CONCRETO (m3)
Losa Cimentación	39	19.5	0.3	1	228.15
Losas entrepiso	39	19.5	0.14	4	425.88
Losa cubierta	39	19.5	0.14	1	106.47
				Total Concreto para losas (m3)	760.5
				Precio de Concreto material de cantera por M3	345,041.42
				Precio de Concreto 30% RCD por M3	330,779.53
				Costo total concreto Tradicional	262,403,999.91
				Costo total concreto con 30% RCD	251,557,828.76
				Porcentaje de incidencia de implementacion de la estrategia	4.13%
				Porcentaje de incidencia de las losas de concreto en el proyecto	14.67%
				Porcentaje de incidencia de material con reemplazo del 30% con RCD en el proyecto	0.61%

Tabla 5. *Relación costo de concreto tradicional vs. Concreto 30% RCD.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

Precio concreto 4000 psi tradicional	$	343,315.00
Precio concreto 4000 psi con nano partículas de dióxido de titanio 7 veces mayor	$	2,403,205.00
% incremento por implementación estrategia		7.00
% general del presupuesto estructura muros		8.39
% incremento presupuesto		58.73

Tabla 6. *Relación costo de concreto tradicional vs. Concreto con Nano partículas*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

US.8.2. Infraestructura con materiales de baja energía embebida, y bajas huella hídrica y carbono:

La decisión de implementar de este tipo de materiales se toma desde la concepción del proyecto, cada vez son más las empresas del sector consientes de la afectación y buscan materiales con estas características, no se ve afectación económica.

US.8.3. Infraestructura con funciones autonómicas para purificación del aire, auto limpieza, auto reparación:

La estrategia predominante para la purificación del aire por medio de la estructura es con el uso en la mezcla del concreto de nano partículas de dióxido de titanio en los muros del edificio, a partir de lo descrito en el Capítulo 2 del tomo II de este Manual, el cual indica que este concreto, cuesta 7 veces más que el concreto tradicional, de aquí surge el siguiente análisis. Ver tabla 6.

US.8.4. Pinturas con bajo contenido de VOC'S:

El uso de pinturas de tipo VOC´S afecta económicamente el presupuesto del proyecto, ya que debido a sus propiedades especiales con el medio ambiente tiene un mayor consto en el mercado, como se indica a continuación, se realiza la comparación de los APUS con pintura normal y tipo VOC´S, y posteriormente en que porcentaje incide en el presupuesto general. Ver tablas 7, 8 y 9.

VERSIÓN BORRADOR

VINILO MURO TIPO 1 (3M) PINTURA					Unidad: ML
					ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
BROCHA CERDA MONA 4	UND	0.01	0	12,877.00	128.77
AGUA	LTS	0.035	0	18.00	0.63
RODILLO FELPA	UND	0.03	0	9,000.00	270.00
CINTA ENMASCARAR	ROL	0.03	0	6,300.00	189.00
VINILO TIPO 1	GLN	0.075	1	54,000.00	4,090.50
				SUBTOTAL MATERIALES	4,678.90
MANO DE OBRA					
M.O. PINTURA 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	0.2134		23,003.00	4,908.84
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	4,908.84
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	0.019		1,600.00	30.40
ANDAMIO METÁLICO TUBULAR	U/D	0.1		1,100.00	110.00
				SUBTOTAL EQUIPO	140.40
			COSTO DIRECTO	9,728.14	9,728.14

Tabla 7. Análisis precio unitario pintura tipo 1 a 3 manos.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VINILO MURO TIPO 1 (3M) PINTURA VOC'S					Unidad: ML
					ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
BROCHA CERDA MONA 4	UND	0.01	0	12,877.00	128.77
AGUA	LTS	0.035	0	18.00	0.63
RODILLO FELPA	UND	0.03	0	9,000.00	270.00
CINTA ENMASCARAR	ROL	0.03	0	6,300.00	189.00
VINILO TIPO 1 VOC'S	GLN	0.075	1	105,000.00	7,953.75
				SUBTOTAL MATERIALES	8,542.15
MANO DE OBRA					
M.O. PINTURA 1 AYUDANT	HC	0.2134		23,003.00	4,908.84
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	4,908.84
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	0.019		1,600.00	30.40
ANDAMIO METÁLICO TUBU	U/D	0.1		1,100.00	110.00
				SUBTOTAL EQUIPO	140.40
			COSTO DIRECTO	13,591.39	13,591.39

Tabla 8. Análisis precio unitario vinilo tipo VOC´S.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

PINTURA TIPO 1 PARA INTERIORES	
Precio de Pintura Tipo 1 Bajo VOC´S por m2	13,637
Precio Pintura Tipo 1 para interiores por m2	9,728
Porcentaje de diferencia de precios	28.66%
Porcentaje de incidencia de la pintura en el proyecto	3.64%
Incremento en % general del presupuesto por cambio a pinturas tipo VOC´S en el proyecto	1.04%

Tabla 9. Relación costo de pintura normal vs Pintura Baja VOC'S.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

US.8.5. Minimizar superficies impermeables en edificación y contexto:

Para minimizar estas superficies se emplea una cubierta vegetal laminar, la cual tiene una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, relacionando un área de 200m2 para esta alternativa, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 10 y 11.

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	134,50	$29.044	$3.906.472
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	134,50	$25.074	$3.372.453
PERFIL DIVISOR		ML	40,00	$63.700	$2.548.000
PIEDRA POMEZ BORDILLO PERIMETRAL		M3	0,60	$585.200	$351.120
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 1 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$67.119	$7.383.068
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 3 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$134.317	$14.774.914
FILTRO DE FINOS (DOBLE)		M2	212,52	$14.690	$3.121.961
SUSTRATO ESTERILIZADO- ESPESOR 10 CM		M3	9,40	$163.856	$1.540.246
VEGETACIÓN TIPO COBERTURA		M2	94,00	$36.400	$3.421.600
SISTEMA DE RIEGO CON GOTERO INTEGRADO		ML	270,00	$11.704	$3.160.080
PROGRAMADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO		UND	0,167	$686.000	$114.333
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
VALVULAS SOLENOIDES PCV 3/4"		UND	1,00	$266.266	$266.266
VALVULA REGULADORA Y CAJA DE CONTROL		UND	1,00	$2.719.297	$2.719.297
CAJAS PARA VALVULAS SOLENOIDES		UND	1,00	$113.347	$113.347
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 46.968.718
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 1.390.000**
TRANSPORTE					**$ 890.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 49.248.718**
				VALOR X M2	**$ 492.487**
SON: CUARENTA Y NUEVE MILLONES DOSCIENTOS CUARENTA Y OCHO MIL SETECIENTOS DIECIOCHO PESOS MCTE					

Tabla 10. *Precios unitarios de la cubierta Reguladora de aguas lluvias.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA LAMINAR REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	**5,013,577,237.50**
COSTO DE LA CUBIERTA REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS POR M2	**492,487.00**
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	**98,497,400.00**
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**1.96%**

Tabla 11. *Porcentaje de incidencia de la cubierta reguladora de aguas lluvias en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

US.8.6. Minimizar superficies absorbentes de radiación solar:

La implementación de esta estrategia se relaciona con jardines verticales que se discriminan a continuación.

US.8.7 Sombrear superficies absorbentes de radicación solar:

La implementación de esta estrategia se relaciona con jardines verticales, que afectan negativamente el presupuesto del proyecto y se discriminan a continuación. Ver tablas 12 y 13.

VERSIÓN BC

ITEMS	Unidad	Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Parcial
IMPERMEABILIZACIÓN POSTERIOR MÓDULOS	M2	25,00	$12.227	$305.663
ESTRUCTURA MÓDULOS PLÁSTICOS 100% RECICLADOS	M2	25,00	$40.755	$1.018.875
PAÑOS A MEDIDA **POLYGEOTEXTIL**	M2	25,00	$47.548	$1.188.688
ANCLAJES EN ALUMINIO CON AISLANTE	UND	156	$6.793	$1.061.328
VEGETACION Y SUSTRATO ESTERILIZADO 25 UNIDADES X M2	UND	625	$7.608	$4.754.750
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	ML	36,63	$13.585	$497.551
TIMER DE UNA SALIDA BATERÍA PANTALLA LCD	UND	1	$266.500	$266.500
PERFILES LATERALES	ML	5,00	$15.600	$78.000
			SUB TOTAL	$ 9.171.354
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				**$ 420.000**
TRANSPORTE + HERRAMIENTAS				**$ 175.000**
			COSTO DIRECTO	**$ 9.766.354**
			VALOR X M2	**$ 390.654**
SON: NUEVE MILLONES SETECIENTOS SESENTA Y SEIS MIL TRESCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO PESOS MCTE				

Tabla 12. *Precios unitarios del jardín sema-hidropónico.*
Fuente: *AIU JARDINES VERTICALES.*

JARDIN SEMIHIDROPÓNICO CON MODULO RIGIDO	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	**5,013,577,237.50**
COSTO DEL JARDIN VERTICAL CON ENREDADERA POR M2	**390,654.00**
COSTO TOTAL INSTALACIÓN DE JARDIN (341,8M2)	**133,525,537.20**
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL JARDIN CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**2.66%**

Tabla 13. *Porcentaje de incidencia del jardín vertical sema-hidropónico en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

US.9. CONSTRUCCIÓN

US.9.1. Entrenamiento operarios manejo eficiente de maquinaria:

No se ve afectación económica negativa ya que a las empresas constructoras debe exigir que el personal de obra esté capacitado para el manejo de maquinaria y su debida actualización.

US.9.2. Control de emisiones en tubos de escape de los equipos:

No se ve afectación económica negativa, las empresas constructoras deben exigir que la maquinaria de obra esté en buen estado y con mantenimiento frecuente para poder laborar en el proyecto.

US.9.3. Renovación de motores de maquinaria y vehículos utilizados:

No se ve afectación económica negativa, las empresas constructoras deben exigir que la maquinaria de obra esté en buen estado y con mantenimiento frecuente antes de iniciar del proyecto.

US.9.4. Empleo de biodiesel o combustibles de bajo índice de contaminación:

Para analizar el implemento de esta estrategia se tomó como base los precios de los diferentes combustibles y se reemplazó en el valor por hora de alquiler de maquinaria tipo pajarita, la cual da un rendimiento de un galón por hora, luego se computo con la carga del ítem de movimiento de tierras que normalmente se ejecuta con este tipo de equipos. Ver tabla 14.

VERSIÓN BORRADOR

IMPLEMENTACIÓN BIODIESEL		
Precio alquiler maquinaria diésel hora	$	85,000.00
Precio diésel Cali (datos federación colombiana de hidrocarburos)	$	8,346.00
% porcentaje del combustible/costo hora	$	9.82
Precio biodiesel Cali (Datos fedebiocombustibles)	$	14,749.00
% incremento en el combustible por implementación estrategia	$	76.719
% incremento Presupuesto general	$	0.1507

Tabla 14. *Porcentaje de incidencia de la implementación de biodiesel.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

US.9.5. Limpieza de vehículos a la salida de la obra:

Esta actividad se puede realizar con suministro de agua lluvia proveniente de los campamentos, por ser un insumo sin costo no afectaría el presupuesto, además la persona que controla el ingreso de vehículos puede realizar la actividad.

US.10. ACCIONES PARA LA CONSERVACIÓN

US.10.1. Afectaciones ambientales:

Este tipo de afectaciones deben ser valoradas por las constructoras y las entidades de control, los directores de proyectos y los diseñadores, tiene claras las normativas exigidas a la hora de radicar las licencias y la forma de evitar este tipo de afectaciones, no se ve incremento en el presupuesto.

US.10.2. Concepto ambiental de obra:

El concepto ambiental garantiza que la afectación al ambiente sea mínima o mantenga un límite, ya sea en la implementación de los materiales, productos o procesos utilizados en la construcción, los directores de proyecto y los diseñadores deberán adaptarse a este tipo de normas desde la etapa de diseño, no se ve afectación al presupuesto.

US.10.3. Plan de manejo de fauna silvestre:

La implementación de este tipo de planes debe estar incluido desde la etapa de concepción del proyecto, coordinado por los diseñadores y por el director de proyectos, no se ve afectación al presupuesto.

US.10.4. Aumentar servicios eco sistémicos en el plan de coberturas vegetales (silvicultura):

La implementación de este tipo de planes solo trae beneficios al proyecto, desde la regulación de aguas en las zonas de coberturas vegetales, al posible beneficio económico de los copropietarios, no se ve afectación al presupuesto.

VERSIÓN BORRADOR

DU.1. EN LA VÍAS

DU.1.1. Bordillos de cunetas y andenes:

La implementación de bordillos y cunetas en el manejo de las aguas superficiales en obra es relativamente fácil, solo es manejar un pendientado que permita la correcta circulación del agua, esta estrategia ya está incluida en el presupuesto y no lo afecta directamente.

DU.1.2. Alcorques – contenedores de árboles:

Los alcorques y los contenedores de árboles como estrategia pueden afectar e incrementar el valor del urbanismo del proyecto.

DU.1.3. Separadores con zanjas filtrantes o canales vegetados:

Esta estrategia complementa el manejo de aguas del edificio y permite en el urbanismo dar un uso adecuado a estas aguas, ayudando a embellecer el proyecto, no agrega costo adicional al proyecto.

DU.1.4. Anden con pavimento permeable y/o franjas filtrantes:

En esta estrategia se cambia el andén en concreto por un andén en adoquines de concreto por ende genera una afectación económica al presupuesto y se ve demostrada a continuación. Ver tablas 15, 16 y 17.

SIN BORRADOR

08-05-02-ANDEN CONCRETO 10CM 3000 PSI						M2
ITEM - Descripción	Unidad	Cant	Desper	Vr/Unitario	Vr/Parcial	
000181-ANTISOL ROJO	KLS	0,200	0,00	16.547	3.309	
002294-PUNTILLA 2 CC	LBS	0,050	0,00	3.098	155	
002556-TABLA 1x10x300 OTOBO	UND	0,500	0,00	12.263	6.132	
1617-LISTON 1 x4x300 OTOBO	UND	0,170	0,00	2.500	425	
6149-DESENCOFRANTE PARA FORMALE	CUN	0,002	0,00	192.756	386	
ME0105-MEZCLA CONCRETO 1:2:3 3100 PSI 21 MPA	M3	0,100	0,05	289.384	28.938	
MOAG12-MANO OBRA ALBANILERIA 2 AYUDANTE-1 OFI	HC	0,300	0,00	31.742	9.523	
MQ0301-HERRAMIENTA MENOR	GLB	0,100	0,00	1.600	160	

Materiales	Equipo	AIU	SubTotal	Mano de Obra	Otros	VALOR TOTAL
10.406	160	0	10.566	9.523	28.938	$49.027

Tabla 15. *Precios unitarios de anden en concreto 3000 psi.*
Fuente: *APUS GOBERNACIÓN DEL VALLE 2020.*

20-04-35-ADOQUIN CONCRETO PEATONAL CRUZ						M2
ITEM - Descripción		Unidad	Cant	Desper	Vr/Unitario	Vr/Parcial
000210-ARENA FINA		M3	0,001	0,00	39.500	40
000224-ARENA GRUESA		M3	0,002	0,00	39.500	79
004839-ADOQ.CONCR.PEATO.HEXAGONAL		UND	20,000	0,00	1.350	27.000
MOAG11-MANO OBRA ALBANILERIA 1 AYUDANTE-1 OFI		HC	1,000	0,00	23.093	23.093
MQ0301-HERRAMIENTA MENOR		GLB	0,010	0,00	1.600	16
Materiales	**Equipo**	**AIU**	**SubTotal**	**Mano de Obra**	**Otros**	**VALOR TOTAL**
27.119	16	0	27.135	23.093	0	$50.228

Tabla 16. *Precios unitarios de adoquín en concreto peatonal.*
Fuente: *APUS GOBERNACIÓN DEL VALLE 2020.*

ADOQUIN EN CONCRETO PEATONAL	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5,013,577,237.50
COSTO DEL ANDEN EN CONCRETO PO M2	49,027.00
COSTO DEL ANDEN EN ADOQUIN DE CONCRETO POR M2	50,228.00
DIFERENCIA DE COSTOS	1,201.00
PORCENTAJE DE DIFERENCIA	2%
INCIDENCIA DE LOS ANDENES EN EL PRESUPUESTO	2.85%
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA IMPLEMENTACION DEL ANDEN EN ADOQUIN DE CONCRETO EN EL PRESUPUESTO GRAL.	0.07%

Tabla 17. *Porcentaje incidencia en el presupuesto general, implementación adoquín en anden peatonal*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

DU.1.5. Calles estrechas y/o aprovechamiento bahías:

Reducir el ancho de las calles y aprovechar las bahías son estrategias que se implementan en la etapa de diseño, no tienen costo adicional.

DU.1.6. Calles compartidas:

El diseño de calles compartidas se realiza en la parte inicial, no afecta el presupuesto.

DU.1.7. Ecoboulevares:

Los ecoboulevares se implementan desde la etapa de diseño arquitectónico del proyecto, no incrementa el valor del presupuesto.

DU.2. EN ESPACIO ABIERTO

DU.2.1. Áreas de conservación – bosques urbanos:

Las áreas de conservación y los bosques urbanos deben ser implementados desde la etapa de diseño arquitectónico del proyecto, no incrementa el valor del presupuesto.

DU.2.2. Parques de tratamiento – humedales artificiales:

Los parques de tratamiento y humedales artificiales se ubican desde la etapa de diseño arquitectónico, no incrementa el valor del presupuesto.

DU.2.3 Estanques de detención multifuncionales:

Los estanques de detención multifuncionales son concebidos desde el diseño arquitectónico, no incrementa el valor del presupuesto.

DU.2.4 Conectar espacios verdes – corredores:

Conectar los espacios verdes por medio de corredores hacen parte del diseño arquitectónico del proyecto, no afecta el presupuesto.

VERSIÓN BORRADOR

Calidad del Ambiente interior
Sistemas a implementar – Estrategias (Capítulo 1 – Tomo II)

CE.1. ORIENTACIÓN Y FORMA

CE.1.1. Orientación y forma del edificio (Orientar el edificio con las fachadas de mayor área al norte y sur y conservar una relación de aspecto entre 1:2 y 1:3):

Orientar el edificio con las fachadas de mayor área al norte y sur y la relación de la base 1:2 o 1:3 no afecta el precio de construcción x m², porque esta estrategia se tiene en cuenta en la etapa de diseño, no afecta el presupuesto.

CE.2 PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS

CE.2.1. Protección solar en vanos orientados este y oeste (de las fachadas este y oeste con elementos horizontales capaces de sombrear un ángulo vertical de 45° (vsa) + de las fachadas norte y sur con una combinación de elementos horizontales y verticales. Los horizontales capaces de sombrear un ángulo vertical de 70° (vsa) y los verticales con capacidad de sombrear un ángulo de 60° (hsa)):

Para calcular la incidencia en el presupuesto de la implementación de los aleros y los quiebrasoles, se modelaron para el edificio de línea base aleros y quiebrasoles, en las diferentes fachadas según criterio arquitectónico, se calcularon los diferentes APUs y se calculó el costo de esta estrategia, se compara con el presupuesto del edificio luego se calcula el porcentaje de incremento. Ver tablas 18, 19, 20, 21, 22 y 23.

IMPLEMENTACIÓN ALEROS				
MODELACIÓN ALEROS ESTRUCTURA METÁLICA + BOARD 10 MM + TUBULAR DE 2" X 1"				
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	# LADOS	# PISOS	LONGITUD TOTAL
Alero Fachada La	39.00	2	5.00	390
Alero Fachada Co	19.50	2	5.00	195
			Precio Alero 30 cm	80,667.11
			Precio Alero 70 cm	106,314.33
			Costo implementación aleros	52,191,467.25

Tabla 18. *Relación costo en la implementación de aleros.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

IMPLEMENTACIÓN QUIEBRA SOLES					
MODELACIÓN QUIEBRA SOLES ESTRUCTURA METÁLICA + BOARD 10 MM + TUBULAR DE 2" X 1" CALIBRE 18 CADA 50					
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	CANT	# LADOS	# PISOS	LONGITUD TOTAL
Quiebra Sol Fachada larga 30 cm	39.00	79	2	5.00	790
Quiebra Sol Fachada corta 70 cm	19.50	40	2	5.00	400
				Quiebra Soles Totales ml	790
				precio quiebra sol de 30 cm	76,883.45
				precio quiebra sol de 70 cm	96,474.18
				costo implementación quiebra sol	99,327,597.50
				costo implementación alero + quiebra sol	151,519,064.75
				porcentaje de incremento en el presupuesto	3.02

Tabla 19. Relación costo en la implementación de quiebra soles.
Fuente: elaboración propia, 2021.

ALERO EN SUPERBOARD Y ESTRUCTURA METALICA 30 CM					Unidad: ML ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
PLACA BOARD 10MM	UND	0.23333	0	66,000.00	15,399.78
PERFIL HR C 4"x2" 2.0MM	UND	0.43	0	61,900.00	26,617.00
TORN P/LAM 1.1/2x 8	UND	15	0	46.00	690.00
TORN PAMPH 1 x 8	UND	12	0	100.00	1,200.00
SOLDADURA 6011 x 1/8 0.12	KLS	0.1	0	9,048.00	904.80
CHAZO EXPANDIBLE 3/8"	UND	4	0	714.00	2,856.00
				SUBTOTAL MATERIALES	47,667.58
MANO DE OBRA					
M.O. METALISTERIA 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	0.5774		25,978.00	14,999.69
M.O. PINTURA 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	0.7825		23,003.00	17,999.84
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	32,999.53
EQUIPO					
				SUBTOTAL EQUIPO	-
OTROS					
				SUBTOTAL TRANSPORTE	-
			COSTO DIRECTO	80,667.11	80,667.11

Tabla 20. Análisis de precio unitario de alero 30 cm en superboard 10 mm con estructura metálica.
Fuente: elaboración propia, 2021.

VERSIÓN BORRADOR

ALERO EN SUPERBOARD Y ESTRUCTURA METALICA 70 CM					Unidad: ML ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
PLACA BOARD 10MM	UND	0.5	0	66,000.00	33,000.00
PERFIL HR C 4"x2" 2.0MM	UND	0.56	0	61,900.00	34,664.00
TORN P/LAM 1.1/2x 8	UND	15	0	46.00	690.00
TORN PAMPH 1 x 8	UND	12	0	100.00	1,200.00
SOLDADURA 6011 x 1/8 0.12	KLS	0.1	0	9,048.00	904.80
CHAZO EXPANDIBLE 3/8"	UND	4	0	714.00	2,856.00
				SUBTOTAL MATERIALES	73,314.80
MANO DE OBRA					
M.O. METALISTERIA 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	0.5774		25,978.00	14,999.69
M.O. PINTURA 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	0.7825		23,003.00	17,999.84
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	32,999.53
EQUIPO					
				SUBTOTAL EQUIPO	-
OTROS					
				SUBTOTAL TRANSPORTE	-
			COSTO DIRECTO	106,314.33	106,314.33

Tabla 21. Análisis precio unitario alero 70 cm en superboard 10 mm con estructura metálica.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

QUIEBRASOL EN SUPERBOARD Y ESTRUCTURA METALICA 30 cm					Unidad: ML ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
PLACA BOARD 10MM	UND	0.175	0	66,000.00	11,550.00
PERFIL HR C 4"x2" 2.0MM	UND	0.4333	0	61,900.00	26,821.27
TORN P/LAM 1.1/2x 8	UND	12	0	46.00	552.00
TORN PAMPH 1 x 8	UND	12	0	100.00	1,200.00
SOLDADURA 6011 x 1/8 0.12	KLS	0.1	0	9,048.00	904.80
CHAZO EXPANDIBLE 3/8"	UND	4	0	714.00	2,856.00
				SUBTOTAL MATERIALES	43,884.07
MANO DE OBRA					
M.O. INSTAL.HIDR. 1 AYUDANTE-1 OFIC	HC	0.6334		23,681.00	14,999.54
M.O. PINTURA 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	0.7825		23,003.00	17,999.84
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	32,999.38
EQUIPO					
				SUBTOTAL EQUIPO	-
OTROS					
				SUBTOTAL TRANSPORTE	-
			COSTO DIRECTO	76,883.45	76,883.45

Tabla 22. Análisis quiebrasol 30 cm en superboard de 10 mm y estructura metálica.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

QUIEBRASOL EN SUPERBOARD Y ESTRUCTURA METALICA 70 cm					Unidad: ML ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
PLACA BOARD 10MM	UND	0.353	0	66,000.00	23,298.00
PERFIL HR C 4"x2" 2.0MM	UND	0.56	0	61,900.00	34,664.00
TORN P/LAM 1.1/2x 8	UND	12	0	46.00	552.00
TORN PAMPH 1 x 8	UND	12	0	100.00	1,200.00
SOLDADURA 6011 x 1/8 0.12	KLS	0.1	0	9,048.00	904.80
CHAZO EXPANDIBLE 3/8"	UND	4	0	714.00	2,856.00
				SUBTOTAL MATERIALES	63,474.80
MANO DE OBRA					
M.O. INSTAL.HIDR. 1 AYUDANTE-1 OFIC	HC	0.6334		23,681.00	14,999.54
M.O. PINTURA 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	0.7825		23,003.00	17,999.84
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	32,999.38
EQUIPO					
				SUBTOTAL EQUIPO	-
OTROS					
				SUBTOTAL TRANSPORTE	-
			COSTO DIRECTO	96,474.18	96,474.18

Tabla 23. *Análisis quiebrasol 70 cm en superboard de 10 mm y estructura metálica.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

CE.2.2. PROTECCIÓN EN VANOS ORIENTADOS NORTE Y SUR:

Para calcular la incidencia en el presupuesto se tomará el análisis del ítem anterior, además como la relación de la forma del edificio es 1:2 esta incidencia anteriormente calculada será la mitad 1,51% de incidencia negativa en el presupuesto.

CE.3. APERTURAS Y VANOS

CE.3.1. Relación ventana – pared entre el 30% y el 40%:

Para analizar este ítem se tomó como RVP inicial del 25% tomados de los análisis arquitectónicos de los proyectos suministrados por la constructora, luego se implementó una RVP del 31% de la envolvente como línea base. Ver tablas 24 y 25.

CE.3.2. Geometría de ventanas tipo cinta:

En esta estrategia no cambia el porcentaje de ventanearía asumido, por lo tanto, no afecta el presupuesto.

CE.3.3 Ventilación cruzada mediante ventanas operables en caras opuestas o adyacentes de los espacios:

Este incremento se calculó con los muros tanto de fachada como interiores, que se afectaban por la implementación de VENTANERÍA, se les aplico una RVP del 31 % en paredes del perímetro, un 15% en las paredes que dan hacia el pasillo interior, se asumió vidrio templado de 5mm y perfilería 50-20. Ver tablas 26,27,28 y 29.

MODELACIÓN INICIAL 25% RVP

LÍNEA BASE VIVIENDA VIS (DTS)						
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)	CANTIDAD APTOS X PISO	ÁREA (m2)	TOTAL (m2)
Apto Esquinero	7.8	7.97	2.4	4	62.166	248.664
Apto central	7.8	7.97	2.4	6	62.166	372.996
					Área total vivienda por piso m2	621.66
					Numero de pisos	5
					Área total vivienda edificio m2	3108.3
					Área general por piso m2	760.5
					Área general Edificio m2	3802.5

MODELACIÓN BLOQUE ESTRUCTURAL 14 CM + RELACIÓN VENTANA-PARED 25% ENVOLVENTE INICIAL							
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ÁREA BRUTA MURO (m2)	ÁREA VENTANERÍA (25%)	ÁREA NETA MURO (m2)	CANTIDAD APTOS POR PISO	ÁREA NETA TOTAL MURO (m2)
Apto Esquinero	7.80	2.4	18.72	4.68	14.04	4	56.16
Apto Esquinero	7.97	2.4	19.13	4.78	14.35	4	57.38
Apto Central	7.80	2.4	18.72	4.68	14.04	6	84.24
						Mampostería en bloque estructural 14 cm por piso m2	197.78
						Numero de pisos	5.00
						Total mampostería en bloque estructural 14 cm edificio m2	988.92

BLOQUE ESTRUCTURAL 14 CM PAREDES INTERNAS					
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ÁREA BRUTA MURO (m2)	CANTIDAD MUROS POR PISO	ÁREA BRUTA TOTAL MURO (m2)
Muro interno 1	7.97	2.4	19.13	8	153.02
Muro interno 2	7.80	2.4	18.72	10	187.20
				Mampostería en bloque estructural 14 cm (m2) por pis	340.22
				Numero de pisos	5.00
				Total mampostería en bloque estructural 14 cm (m	1701.12

TOTAL MAMPOSTERÍA GENERAL INICIAL	
Total mampostería estructural general M	2690.04
Precio m2 mampostería en bloque estructur	50,801.00
Precio total m2 mampostería en bloque estructural inic	136,656,722.04

MODELACIÓN VENTANERIA - 25% ENVOLVENTE INICIAL							
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ÁREA BRUTA MURO (m2)	ÁREA VENTANERÍA (25%)	CANTIDAD APTOS POR PISO		ÁREA TOTAL VENT (m2)
Apto Esquinero	7.80	2.4	18.72	4.68	4		18.72
Apto Esquinero	7.97	2.4	19.13	4.78	4		19.13
Apto Central	7.80	2.4	18.72	4.68	6		28.08
					Ventaneria x piso (fijo + corrediza) m2		65.93
					Numero de pisos		5.00
					Total ventaneria (fijo + corrediza) m2		329.64
					Precio m2 ventaneria corrediza	$	276,087.93
					Precio total ventaneria envolvente 25% RVP INICIAL	$	91,009,625.25
					TOTAL MODELACIÓN MURO + VENTANERÍA 25% RVP INICIAL	$	227,666,347.29

Tabla 24. *Modelación inicial 25% RVP.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

MODELACIÓN 31% RVP

IMPLEMENTACIÓN ESTRATEGIAS VIVIENDA VIS (DTS)						
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)	CANTIDAD APTOS X PISO	ÁREA (m2)	TOTAL (m2)
Apto Esquinero	7.8	7.97	2.4	4	62.166	248.664
Apto central	7.8	7.97	2.4	6	62.166	372.996
					Área total vivienda por piso m2	621.66
					Numero de pisos	5
					Área total vivienda edificio m2	3108.3
					Área general por piso m2	760.5
					Área general Edificio m2	3802.5

CAMBIO BLOQUE ESTRUCTURAL SENCILLO X MURO DOBLE PAREDES ENVOLVENTE							
MODELACIÓN BLOQUE ESTRUCTURAL 14 CM + FAROL RELACIÓN VENTANA-PARED 31% ENVOLVENTE							
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ÁREA BRUTA MURO (m2)	ÁREA VENTANERÍA (31%)	ÁREA NETA MURO (m2)	CANTIDAD APTOS POR PISO	ÁREA NETA TOTAL MURO (m2)
Apto Esquinero	7.80	2.4	18.72	5.80	12.92	4	51.67
Apto Esquinero	7.97	2.4	19.13	5.93	13.20	4	52.79
Apto Central	7.80	2.4	18.72	5.80	12.92	6	77.50
						Mampostería en bloque estructural 14 cm + farol por piso m2	181.96
						Numero de pisos	5.00
						Total mampostería en bloque estructural 14 cm+ farol edificio m2	909.81

BLOQUE ESTRUCTURAL 14 CM PAREDES INTERNAS					
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ÁREA BRUTA MURO (m2)	CANTIDAD MUROS POR PISO	ÁREA BRUTA TOTAL MURO (m2)
Muro interno 1	7.97	2.4	19.13	8	153.02
Muro interno 2	7.80	2.4	18.72	10	187.20
				Mampostería en bloque estructural 14 cm (m2) por piso	340.22
				Numero de pisos	5.00
				Total mampostería en bloque estructural 14 cm (m2)	1701.12

Total mampostería estructural general M2	2610.93
Precio m2 mampostería en bloque estructural	50,801.00
Precio total m2 mampostería en bloque estructural propuesta	132,637,672.05

MODELACIÓN VENTANERIA - 31% ENVOLVENTE PROPUESTA						
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ÁREA BRUTA MURO (m2)	ÁREA VENTANERÍA (31%)	CANTIDAD APTOS POR PISO	ÁREA TOTAL VENT (m2)
Apto Esquinero	7,80	2,4	18,72	5,80	4	23,21
Apto Esquinero	7,97	2,4	19,13	5,93	4	23,72
Apto Central	7,80	2,4	18,72	5,80	6	34,82
					Ventaneria x piso (fijo + corrediza) m2	81,75
					Numero de pisos	5,00
					Total ventaneria (fijo + corrediza) m2	408,75
					Precio m2 ventaneria corrediza	$ 276.087,93
					Precio total ventaneria envolvente 31% línea base	$ 112.851.935,30

TOTAL MODELACIÓN MURO + VENTANERÍA 31% RVP	$	245,489,607.35
TOTAL MODELACIÓN MURO + VENTANERÍA 25% RVP INICIAL	$	227,666,347.29
INCREMENTO MODELACIÓN INICIAL 25% RVP Y 31% RVP	$	0.08
% GENERAL DEL PRESUPUESTO MAMPOSTERÍA + VENTANERIA	$	11.70
% INCREMENTO GENERAL DEL PRESUPUESTO MAMPOSTERÍA + VENTANERIA	$	0.92

Tabla 25. Modelación 31% RVP.
Fuente: elaboración propia, 2021.

VERSIÓN BORRADOR

IMPLEMENTACIÓN VENTILACIÓN CRUZADA							
MODELACIÓN BLOQUE ESTRUCTURAL 14 CM + FAROL RELACIÓN VENTANA-PARED 31% ENVOLVENTE + VENT CRUZADA 15%							
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ÁREA BRUTA MURO (m2)	ÁREA VENTANERÍA (31%)	ÁREA NETA MURO (m2)	CANTIDAD APTOS POR PISO	ÁREA NETA TOTAL MURO (m2)
Apto Esquinero	7.80	2.4	18.72	5.80	12.92	4	51.67
Apto Esquinero	7.97	2.4	19.13	5.93	13.20	4	52.79
Apto Central	7.80	2.4	18.72	5.80	12.92	6	77.50
					Mampostería en bloque estructural 14 cm + farol por piso m2		181.96
					Numero de pisos		5.00
					Total mampostería en bloque estructural 14 cm+ farol edificio m2		909.81

IMPLEMENTACIÓN VENTILACIÓN CRUZADA					
BLOQUE ESTRUCTURAL 14 CM -15% VENT CRUZADA					
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ÁREA BRUTA MURO (m2)	CANTIDAD MUROS POR PISO	ÁREA BRUTA TOTAL MURO (m2)
Muro interno 1	7.97	2.4	19.13	8	153.02
Muro interno 2	7.80	2.4	18.72	10	187.20
Área vent muro 2	-7.80	2.4	-2.81	10	-28.08
				Mampostería en bloque estructural 14 cm (m2) por piso	312.14
				Numero de pisos	5.00
				Total mampostería en bloque estructural 14 cm (m2)	1560.72

TOTAL MAMPOSTERÍA GENERAL		
Precio m2 mampostería en bloque estructural 14 cm		50801
Precio m2 mampostería en ladrillo limpio 1c		49506
Precio m2 mampostería combinado muro estructural + ladrillo limpio		100307
Total mampostería inicial con 25% RVP inicial bloque estructural 14 cm		2690.04
Precio total inicial mampostería en bloque estructural 14 cm		136,656,722.04
Total mampostería doble estructural + limpio m2 propuesta RVP 31% envolvente + vent cruzada		909.81
Precio Total mampostería doble propuesta RVP 31% envolvente + vent cruzada	$	91,259,950.56
mampostería en bloque estructural m2 propuesta RVP 31% envolvente+ vent cruzada		1560.72
Precio Total mampostería sencilla propuesta RVP 31% envolvente + vent cruzada	$	79,286,136.72
Costo total estrategia	$	170,546,087.28
% general del presupuesto		8.39
REDUCCIÓN EN % GENERAL DEL PRESUPUESTO POR IMPLEMENTACIÓN ESTRATEGIA		2.08

VERSIÓN BORRADOR

IMPLEMENTACIÓN VENTILACIÓN CRUZADA						
MODELACIÓN VENTANERIA - 31% ENVOLVENTE + VENT CRUZADA 15%						
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ÁREA BRUTA MURO (m2)	ÁREA VENTANERÍA (31%) + 15% VENT CRUZADA	CANTIDAD APTOS POR PISO	ÁREA TOTAL VENT (m2)
Apto Esquinero	7.80	2.4	18.72	5.80	4	23.21
Apto Esquinero	7.97	2.4	19.13	5.93	4	23.72
Apto Central	7.80	2.4	18.72	5.80	6	34.82
Apto Central	7.80	2.4	18.72	2.81	10	28.08
					Ventaneria x piso (fijo + corrediza) m2	109.83
					Numero de pisos	5.00
					Total ventaneria (fijo + corrediza) m2	549.15
					Total ventaneria cambiar por batiente m2	549.15
					Total ventaneria inicial 25% envolvente m2	329.64
					Precio m2 ventaneria corrediza	$ 276,087.93
					Precio m2 ventaneria batiente	$ 276,087.93
					Precio total ventaneria envolvente 31% + 15% ventilación cruzada	$ 151,614,680.68
					Precio total ventaneria envolvente 25%inicial	$ 91,009,625.25
					Incremento por estrategia %	$ 0.67
					% general del presupuesto	$ 3.32
					INCREMENTO EN % GENERAL DEL PRESUPUESTO POR IMPLEMENTACIÓN ESTRATEGIA VENTANERIA	$ 2.21

TOTAL MODELACIÓN MURO + VENTANERÍA 31% RVP + 15% CRUZADA	$	322,160,767.96
TOTAL MODELACIÓN MURO + VENTANERÍA 25% RVP INICIAL	$	227,666,347.29
INCREMENTO MODELACIÓN INICIAL 25% RVP Y 31% RVP+ 15% VENT CRUZADA	$	0.42
% GENERAL DEL PRESUPUESTO MAMPOSTERÍA + VENTANERIA	$	11.70
% INCREMENTO GENERAL DEL PRESUPUESTO MAMPOSTERÍA + VENTANERIA	$	4.86

Tabla 26. Relación de costos implementación estrategia de VENTANERÍA.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

MURO BLOQUE CONCRETO 14x19x39CM					Unidad: M2
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
BLOQUE CONCRETO N 14X19X39	UND	10	2	2,779.00	28,345.80
BLOQUE CONCRETO M 14X19X19	UND	2	2	1,667.00	3,400.68
BLOQUE CONCRETO T 14X19X39	UND	1.5	2	3,057.00	4,677.21
MORTERO DE PEGA PARA BLOQUE	M3	0.015		316,240.00	4,743.60
				SUBTOTAL MATERIALES	41,167.29
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	0.42		21,648.00	9,092.16
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	9,092.16
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	0.201		1,600.00	321.60
ANDAMIO METALICO TUBULAR	U/D	0.2		1,100.00	220.00
				SUBTOTAL EQUIPO	541.60
OTROS					
				SUBTOTAL OTROS	-
			COSTO DIRECTO	50,801.05	50,801.00

Tabla 27. Análisis precio unitario muro en bloque de concreto.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN DE EVALUACIÓN

MURO LAD.SOGA LIMPIO 1C					Unidad: M2
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
LAD.PRENS.LIMPIO 6.5X12X24	UND	52	3	500.00	26,780.00
MORTERO 1:4	M3	0.035		253,597.00	8,875.89
				SUBTOTAL MATERIALES	35,655.89
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	0.62		21,648.00	13,421.76
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	13,421.76
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	0.199		1,600.00	318.40
ANDAMIO METALICO TUBULAR	U/D	0.1		1,100.00	110.00
				SUBTOTAL EQUIPO	428.40
OTROS					
				SUBTOTAL OTROS	-
			COSTO DIRECTO	49,506.05	49,506.00

Tabla 28. Análisis precio unitario muro en ladrillo limpio en soga a una cara.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VENTANA ALUM.CORREDIZA P.50-20					Unidad: M2
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
PERFIL ALUM.HORIZONT 50-20	UND	0.175	1	44,000.00	7,777.00
PERFIL ALUM.JAMBA 50-20	UND	0.335	1	42,900.00	14,515.21
PERFIL ALUM.TRASLAPE 50-20	UND	0.335	1	50,600.00	17,120.51
REMACHE POP 4-2 1/4"X1/8	UND	4		160.00	640.00
EMPAQUE NEOPRENO	ML	6	1	1,800.00	10,908.00
PERFIL ALUM.ENGANCHE 50-20	UND	0.335	1	39,600.00	13,398.66
PERFIL ALUM.HORÍZONT 50-20	UND	0.175	1	44,000.00	7,777.00
PERFIL ALUM ADAPTADOR 5020	UND	0.175	1	28,600.00	5,055.05
PERFIL ALUM.SILLAR 50-20	UND	0.175	1	48,400.00	8,554.70
PERFIL ALUM.CABEZAL 50-20	UND	0.175	1	44,000.00	7,777.00
CHAZO PLASTICO .1/ 4"	UND	8		150.00	1,200.00
VIDRIO TRANSP TEMPLADO 5MM	M2	0.9	1	97,000.00	87,300.00
SILICONA TRANSPARENT.11 OZ	UND	0.5		11,120.00	5,560.00
CIERRE 1/2 LUNA	UND	1		5,100.00	5,100.00
RODAMIENTO NYLON VC-50-20	UND	2		3,560.00	7,120.00
TORN PAMPH .1/2x 8	UND	8		100.00	800.00
TORN PAMPH 1 x 8	UND	8		100.00	800.00
GUIA PLASTICA VC-50-20	UND	2		120.00	240.00
				SUBTOTAL MATERIALES	201,643.13
MANO DE OBRA					
M.O. CARP.ALUMINIO 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	2		21,648.00	43,296.00
SUBCONTRATO CARPINTERIA ALUMINIO	GLB	2.88		10,000.00	28,800.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	72,096.00
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	1.468		1,600.00	2,348.80
				SUBTOTAL EQUIPO	2,348.80
OTROS					
				SUBTOTAL OTROS	-
			COSTO DIRECTO	214,239.93	276,087.93

Tabla 29. Análisis precio unitario VENTANERÍA en perfilería 50-20.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

CE.4. CARACTERÍSTICAS DE LA ENVOLVENTE

CE.4.1. Envolvente vertical con un valor de 1.21 W/m2°K o inferior:

Para analizar este ítem se tomó como RVP inicial del 25% tomados de los análisis arquitectónicos de los proyectos suministrados por la constructora, luego se implementó una RVP del 31% de la envolvente como línea base. Ver tablas 24 y 25.

IMPLEMENTACIÓN VENTILACIÓN CRUZADA							
MODELACIÓN BLOQUE ESTRUCTURAL 14 CM + FAROL RELACIÓN VENTANA-PARED 31% ENVOLVENTE + VENT CRUZADA 15%							
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ÁREA BRUTA MURO (m2)	ÁREA VENTANERÍA (31%)	ÁREA NETA MURO (m2)	CANTIDAD APTOS POR PISO	ÁREA NETA TOTAL MURO (m2)
Apto Esquinero	7,80	2,4	18,72	5,80	12,92	4	51,67
Apto Esquinero	7,97	2,4	19,13	5,93	13,20	4	52,79
Apto Central	7,80	2,4	18,72	5,80	12,92	6	77,50
					Mampostería en bloque estructural 14 cm + farol por piso m2		181,96
					Numero de pisos		5,00
					Total mampostería en bloque estructural 14 cm+ farol edificio m2		909,81

IMPLEMENTACIÓN VENTILACIÓN CRUZADA					
BLOQUE ESTRUCTURAL 14 CM - 15% VENT CRUZADA					
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ÁREA BRUTA MURO (m2)	CANTIDAD MUROS POR PISO	ÁREA BRUTA TOTAL MURO (m2)
Muro interno 1	7,97	2,4	19,13	8	153,02
Muro interno 2	7,80	2,4	18,72	10	187,20
Área vent muro 2	-7,80	2,4	-2,81	10	-28,08
				Mampostería en bloque estructural 14 cm (m2) por piso	312,14
				Numero de pisos	5,00
				Total mampostería en bloque estructural 14 cm (m2)	1560,72

TOTAL MAMPOSTERÍA GENERAL	
Precio m2 mampostería en bloque estructural 14 cm	50801
Precio m2 mampostería en ladrillo limpio 1c	49506
Precio m2 mampostería combinado muro estructural + ladrillo limpio	100307
Total mampostería inicial con 25% RVP inicial bloque estructural 14 cm	2690,04
Precio total inicial mampostería en bloque estructural 14 cm	136.656.722,04
Total mampostería doble estructural + limpio m2 propuesta RVP 31% envolvente + vent cruzada	909,81
Precio Total mampostería doble propuesta RVP 31% envolvente + vent cruzada	$ 91.259.950,56
otal mampostería en bloque estructural m2 propuesta RVP 31% envolvente+ vent cruzada	1560,72
Precio Total mampostería sencilla propuesta RVP 31% envolvente + vent cruzada	$ 79.286.136,72
Costo total estrategia	$ 170.546.087,28
% general del presupuesto	8,39
REDUCCIÓN EN % GENERAL DEL PRESUPUESTO POR IMPLEMENTACIÓN ESTRATEGIA	2,08

Tabla 30. *Relación de costos implementación estrategia de VENTANERÍA respecto a mampostería.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

CE.4.2. Envolvente vertical de colores claros con un valor de reflectividad igual o superior al 0,6:

Esta estrategia consiste en pintar la fachada en colores claros y está incluido en el presupuesto general, por lo cual no incrementa el presupuesto.

CE.4.3. Cubierta con valor U igual o inferior a 0.5 W/m2°K:

Para esta cubierta vegetal laminar hay una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, relacionando un área de 200m² para esta alternativa, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto (tablas 31 y 32).

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR. UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	125,00	$29.044	$3.630.550
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	125,00	$25.074	$3.134.250
PERFIL DIVISOR		ML	40,00	$63.700	$2.548.000
PIEDRA POMEZ BORDILLO PERIMETRAL		M3	0,75	$585.200	$438.900
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 2 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$103.904	$11.429.418
FILTRO DE FINOS		M2	103,40	$14.690	$1.518.967
SUSTRATO ORGÁNICO- ESPESOR 10 A 15 CM		M3	11,75	$163.856	$1.925.308
VEGETACIÓN TIPO AROMÁTICAS		M2	94,00	$72.800	$6.843.200
SISTEMA DE RIEGO CON GOTERO INTEGRADO		ML	270,00	$11.704	$3.160.080
PROGRAMADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO		UND	0,167	$686.000	$114.333
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
VALVULAS SOLENOIDES PCV 3/4"		UND	1,00	$266.266	$266.266
CAJAS PARA VALVULAS SOLENOIDES		UND	1,00	$113.347	$113.347
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 35.298.179
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 780.000**
TRANSPORTE					**$ 450.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 36.528.179**
				VALOR X M2	**$ 365.282**
SON: TREINTA Y SEIS MILLONES QUINIENTOS VEINTIOCHO MIL CIENTO SETENTA Y NUEVE PESOS MCTE					

Tabla 31. *Precios unitarios de la cubierta Laminar Herbácea Perenne.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA LAMINAR CON HERBÁCEAS PERENNES	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5,013,577,237.50
COSTO DE LA CUBIERTA CON HERBÁCEAS PERENNES POR M2	365,282.00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	73,056,400.00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA LAMINAR EN EL PRESUPUESTO GRAL..	1.46%

Tabla 31. *Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar con herbáceas perennes en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CE.5. CONFORT LUMÍNICO EN EDIFICACIONES

C.E.5.1. Control del deslumbramiento:

Para el control de deslumbramiento, se hacen diferentes modelaciones donde se varia la RVP hasta lograr un óptimo, esto no genera incremento en el presupuesto.

VERSIÓN

CE.5.2 Coeficiente de luz diurna adecuado con la actividad a desempeñar en el espacio:

Para el cálculo del coeficiente de luz diurna se hacen diferentes modelaciones computacionales donde se varia la RVP hasta lograr un óptimo. Los posibles sobrecostos están considerados en el punto CE. 3.1.

CE.5.3. Uniformidad lumínica:

Para lograr la uniformidad lumínica se requiere modelar ventanas en los diferentes muros, para este proyecto en particular las ventanas que se ubicaron en la envolvente, son las que generan uniformidad lumínica, ya que las ubicadas en los muros internos solo generan ventilación cruzada, si no se incrementa la RVP no se afecta el costo del proyecto.

CE.5.4. Acabado de los interiores con una reflectividad igual o inferior a 0,6:

Este ítem no afecta el costo del proyecto, se implementa pintura de colores claros en las paredes interiores del proyecto y ya está incluida en el presupuesto.

CE.5.5. Profundidad, altura y ventana en la edificación:

La modificación de profundidad, altura y ventanas en la edificación, no afecta el costo del proyecto si se maneja la RVP propuesta.

Materiales Sustentables

Sistemas a implementar – Estrategias (Capítulo 2 – Tomo II)

MS.1. APROVECHAMIENTO RCD Y SIMBIOSIS

MS.1.1. Infraestructura con materiales con reemplazo del 30% de agregados naturales y cementantes alternativos:

En esta estrategia se ve una afectación económica favorable para el proyecto, a continuación, se exponen los precios totales por m3 en los APUS discriminados de la Mezcla de concreto con material de cantera y la Mezcla de concreto con 30% de RCD, además como afecta de manera positiva en el presupuesto general del proyecto con el porcentaje de incidencia. Tablas 33, 34 y 35.

VERSIÓN BORRADOR

MEZCLA CONCRETO 1:2:1 4000 PSI - 28,0 Mpa					Unidad: M3 ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
AGUA	LTS	210	0,03	18,00	3.781,13
ARENA GRUESA	M3	0,87	0,03	35.500,00	30.894,26
GRAVA TRITURADA .3/4	M3	0,47	0,03	58.000,00	27.268,17
GASOLINA CORRIENTE	GLN	0,1		9.700,00	970,00
CEMENTO GRIS	KLS	480		500,00	240.000,00
ACEITE MOTOR 4 TIEMPOS	GLN	0,006		76.000,00	456,00
				SUBTOTAL MATERIALES	**303.369,56**
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 3 AYUDANTE	HC	1,1		24.327,00	26.759,70
MANO OBRA OFICIAL ALBANILERIA	HRS	0,5		8.962,00	4.481,00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	**31.240,70**
EQUIPO					
MEZCLADORA DE 9 PIES CUBICOS	DIA	0,081		38.800,00	3.142,80
HERRAMIENTA MENOR	GLB	3,4759		1600,00	5.561,44
				SUBTOTAL EQUIPO	**8.704,24**
OTROS					
				SUBTOTAL OTROS	-
		COSTO DIRECTO		343.314,50	**343.315,00**

Tabla 33. *Análisis precio unitario concreto 4000 psi tradicional.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

MEZCLA CONCRETO 1:2:1 4000 PSI - 28,0 Mpa 30% RCD					Unidad: M3 ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
AGUA	LTS	210	0,03	18,00	3.781,13
ARENA GRUESA RCD 30%	M3	0,26	0,03	10.000,00	2.688,30
ARENA GRUESA 70%	M3	0,61	0,03	35.500,00	22.268,09
GRAVA TRITURADA 3/4 RCD 30%	M3	0,14	0,03	7.000,00	1.016,61
GRAVA TRITURADA 3/4 70%	M3	0,33	0,03	58.000,00	19.654,46
GASOLINA CORRIENTE	GLN	0,1		9.700,00	970,00
CEMENTO GRIS	KLS	480		500,00	240.000,00
ACEITE MOTOR 4 TIEMPOS	GLN	0,006		76.000,00	456,00
				SUBTOTAL MATERIALES	**290.834,59**
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 3 AYUDANTE	HC	1,1		24.327,00	26.759,70
MANO OBRA OFICIAL ALBANILERIA	HRS	0,5		8.962,00	4.481,00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	**31.240,70**
EQUIPO					
MEZCLADORA DE 9 PIES CUBICOS	DIA	0,081		38.800,00	3.142,80
HERRAMIENTA MENOR	GLB	3,4759		1.600,00	5.561,44
				SUBTOTAL EQUIPO	**8.704,24**
OTROS					
				SUBTOTAL OTROS	-
			COSTO DIRECTO		**330.779,53**

Tabla 34. *Análisis precio unitario concreto 4000 psi con 30% RCD.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

LOSAS EN CONCRETO (M3)					
DESCRIPCIÓN	LARGO (m)	ALTURA (m)	ESPESOR (M)	CANTIDAD	TOTAL CONCRETO (m3)
Losa Cimentación	39	19,5	0,3	1	228,15
Losas entrepiso	39	19,5	0,14	4	425,88
Losa cubierta	39	19,5	0,14	1	106,47
				Total Concreto para losas (m3)	760,5
				Precio de Concreto material de cantera por M3	345.041,42
				Precio de Concreto 30% RCD por M3	330.779,53
				Costo total concreto Tradicional	262.403.999,91
				Costo total concreto con 30% RCD	251.557.828,76
				Porcentaje de incidencia de implementacion de la estrategia	4,13%
				Porcentaje de incidencia de las losas de concreto en el proyecto	14,67%
				Porcentaje de incidencia de material con reemplazo del 30% con RCD en el proyecto	0,61%

Tabla 35. *Relación costo de concreto tradicional vs. Concreto 30% RCD.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

MS.2. PROCESOS LIMPIOS E INNOVACIÓN

MS.2.1. Infraestructura con materiales de baja energía embebida, y bajas huellas hídrica y de carbono:

La decisión de implementar de este tipo de materiales se toma desde la concepción del proyecto, cada vez son más las empresas del sector consientes de la afectación y buscan materiales con estas características, no se ve afectación económica en el proyecto.

MS.2.2 Infraestructura con funciones autonómicas para purificación del aire, auto limpieza, auto reparación:

La estrategia predominante para la purificación del aire por medio de la estructura, es con el uso en la mezcla del concreto de nano partículas de dióxido de titanio en los muros del edificio. Este concreto, cuesta 7 veces más que el concreto tradicional, de aquí surge el siguiente análisis. Ver tabla 36.

Precio concreto 4000 psi tradicional	$	343.315,00
Precio concreto 4000 psi con nano partículas de dióxido de titanio 7 veces mayor	$	2.403.205,00
% incremento por implementación estrategia		7,00
% general del presupuesto estructura muros		8,39
% incremento presupuesto		58,73

Tabla 36. *Relación costo de concreto tradicional vs. Concreto con nanopartículas.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

MS.3. RECUBRIMIENTOS

MS.3.1. Pintura con bajo contenido de tipo VOC´S:

El uso de pinturas de tipo VOC´S logra afectar económicamente el presupuesto del proyecto, debido a que por sus propiedades especiales con el medio ambiente tiene un mayor costo en el mercado, como se indica a continuación, se realiza la comparación de los APUs con pintura normal y tipo VOC´S, y el porcentaje incide en el presupuesto general (tablas 37, 38 y 39).

VINILO MURO TIPO 1 (3M) PINTURA					Unidad: ML ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
BROCHA CERDA MONA 4	UND	0,01	0	12.877,00	128,77
AGUA	LTS	0,035	0	18,00	0,63
RODILLO FELPA	UND	0,03	0	9.000,00	270,00
CINTA ENMASCARAR	ROL	0,03	0	6.300,00	189,00
VINILO TIPO 1	GLN	0,075	1	54.000,00	4.090,50
				SUBTOTAL MATERIALES	**4.678,90**
MANO DE OBRA					
M.O. PINTURA 1AYUDANTE-1OFI	HC	0,2134		23.003,00	4.908,84
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	**4.908,84**
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	0,019		1600,00	30,40
ANDAMIO METÁLICO TUBULAR	U/D	0,1		1100,00	110,00
				SUBTOTAL EQUIPO	**140,40**
			COSTO DIRECTO	9.728,14	**9.728,14**

Tabla 37. *Análisis de precio unitario de vinilo de muro tipo 1 (3m).*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VINILO MURO TIPO 1 (3M) PINTURA VOC'S					Unidad: ML ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
BROCHA CERDA MONA 4	UND	0,01	0	12.877,00	128,77
AGUA	LTS	0,035	0	18,00	0,63
RODILLO FELPA	UND	0,03	0	9.000,00	270,00
CINTA ENMASCARAR	ROL	0,03	0	6.300,00	189,00
VINILO TIPO 1 VOC'S	GLN	0,075	1	105.000,00	7.953,75
				SUBTOTAL MATERIALES	**8.542,15**
MANO DE OBRA					
M.O. PINTURA 1AYUDANTE-1OFI	HC	0,2134		23.003,00	4.908,84
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	**4.908,84**
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	0,019		1600,00	30,40
ANDAMIO METÁLICO TUBULAR	U/D	0,1		1100,00	110,00
				SUBTOTAL EQUIPO	**140,40**
			COSTO DIRECTO	13.591,39	**13.591,39**

Tabla 38. *Análisis de precio unitario de vinilo bajo VOC'S de muro tipo 1 (3m)*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

PINTURA TIPO 1 PARA INTERIORES	
Precio de Pintura Tipo 1 Bajo VOC´S por m2	13.637
Precio Pintura Tipo 1 para interiores por m2	9.728
Porcentaje de diferencia de precios	28,66%
Porcentaje de incidencia de la pintura en el proyecto	3,64%
Incremento en % general del presupuesto por cambio a pinturas tipo VOC´S en el proyecto	**1,04%**

Tabla 39. *Relación de costos por la implementación de la estrategia de pintura baja VOC'S.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

MS.4. COORDINACIÓN DISEÑOS Y PROCESOS

MS.4.1. Coordinación en el diseño para reducir residuos de construcción:

No incrementa el costo directo de obra, debido a que es una decisión en la forma de desarrollarlo y se toma al inicio del proyecto no agrega costo adicional.

MS.4.2. Optimización de los procesos mediante producción industrializada:

No incrementa el costo directo de obra, debido a que es una decisión de la forma de construir que se toma al inicio del proyecto y no agrega costo adicional.

MS.4.3. Sistemas constructivos que permitan adaptación y cambio de uso en el tiempo de manera sencilla:

No incrementa el costo directo de obra, debido a que es una decisión de la forma de construir que se toma al inicio del proyecto y no agrega costo adicional.

MS.5 DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTOS Y MATERIAS PRIMAS

MS.5.1 Uso exclusivo de maderas jóvenes cultivadas (se recomienda incluir con fuente de materias primas):

Los proyectos de este tipo no incluyen tanta madera como en la construcción de vivienda tradicional, el uso de formaletas recuperables diseñadas para más de 1000 usos, es lo habitual, solo se usan en las puertas y carpintería de cocina y se encuentran incluidas en el presupuesto.

MS.5.2. Uso de materias primas extraídas de la fuente de forma responsable:

No afecta económicamente el proyecto, debido a que es una exigencia que se le hace al proveedor de la materia prima en especial y no un ítem o precio adicional.

MS.5.3. Uso de materiales con información que certifique baja energía embebida y bajas huellas hídrica y carbono. Se podría articular con procesos limpios:

La decisión de implementar de este tipo de materiales se toma desde la concepción del proyecto, cada vez son más las empresas del sector consientes de la afectación y buscan materiales con estas características, no se ve afectación económica.

VERSIÓN BORRADOR

Eficiencia y ahorro de agua
Sistemas a implementar – Estrategias (Capítulo 3 – Tomo II)

AA.1. EQUIPOS SANITARIOS EFICIENTES

AA.1.1. Unidades privadas (vivienda, habitación hotel, local, oficina, etc.):

El uso de estas tecnologías eficientes son frecuentes, y normalmente están incluidos en el presupuesto, por lo tanto, este no se ve afectado.

A.A.1.2. Aparatos sanitarios en zonas comunes:

Los aparatos sanitarios, utilizados en estos proyectos son de bajo consumo y doble descarga, están incluidos en el presupuesto general, este no se ve afectado.

A.A.1.3. Aseo y mantenimiento de áreas comunes:

En estas zonas se utiliza normalmente llaves para manguera, para estas los fabricantes están desarrollando tecnologías que permiten ahorros en el uso de ellas, se encuentran incluido en el presupuesto general de la obra y no lo afecta.

VERSIÓN BORRADOR

AA.2. JARDINERÍA Y PAISAJISMO EFICIENTE EN AGUA

AA.2.1 sistema de riego eficiente (por micro aspersión o por goteo)

Se asume un aprovechamiento del 20% del área de la cubierta del edificio que son 152 m2, de los cuales 82 m2 se usaran como el humedal artificial para tratamiento de aguas grises, 50m2 de área verde y 20 m2 en materas se podría configurarse: sistema de riego por goteo.

- **Micro aspersión:** En este ítem se combinan 2 sistemas el de retención planteado con las cubiertas verdes donde se realiza la captación, se retiene y luego se libera, la distribución se hace por gravedad lo cual arroja como resultado un incremento poco significativo en el presupuesto.
- **Micro aspersor:** En este ítem se combinan 2 sistemas el de retención planteado con las cubiertas verdes donde se realiza la captación, se retiene y luego se libera, la distribución se hace por gravedad lo cual arroja como resultado un incremento poco significativo en el presupuesto.
- **Riego por goteo:** En este ítem se combinan 2 sistemas el de retención planteado con las cubiertas verdes donde se realiza la captación, se retiene y luego se libera, la distribución se hace por gravedad lo cual arroja como resultado un incremento poco significativo en el presupuesto.

AA.2.2. Selección de especies nativas de baja demanda de agua:

Esta estrategia no genera incremento en el presupuesto, ya que se implementa desde la etapa de diseño arquitectónico y va incluida en los precios del urbanismo.

AA.2.3. Retención de humedad (por mantos orgánicos y/o materas- delimitación):

No tiene incremento en el presupuesto general, ya que se puede proporcionar a partir de un buen uso de recursos de la obra, organizando el terreno de manera que el agua fluya hacia el subsuelo.

AA.2.4. Agrupación de plantas por necesidades de agua:

La estrategia de agrupar plantas por necesidades de agua se implementa desde la etapa de diseño y se coordina con el manejo de aguas superficiales del proyecto, de esta manera no genera incremento en el presupuesto.

AA.3. REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

AA.3.1 Durante la obra (para uso en inodoros campamento o aseo y limpieza en obra):

Es habitual darle uso al agua lluvia para inodoros del campamento, mediante recolección en tinas, no afecta el presupuesto.

AA.3.2. Para uso en áreas privadas (en inodoros y/o lavadoras)

Con los datos de diseño usados en la formulación del Capítulo 3 del tomo II de este Manual, para una cubierta de 760m² se tiene un potencial de captación de 54m3/mes es decir 1.8 m³ día, con lo cual se podría tener un tanque de 2000 litros polietileno, los equipos de presión se calcularon con el punto más lejano ubicado en el quinto piso y consultando con un proveedor local arrojo como resultado una de 15HP tipo lápiz por el bajo mantenimiento.

Además se instalan dos para tener contingencia (ver tabla 40).

IMPLEMENTACION DE SISTEMA RECIRCULACION AGUAS LLUVIAS EDIFICIO BASE		
Precio tanque 2000 lts plástico	$	881,380.00
Precio 2 motobombas tipo lápiz de 15 HP	$	22,672,954.00
Precio aprox equipo de control	$	3,000,000.00
Precio aprox 50% tubería agua fría	$	19,552,951.23
valor adicional del presupuesto	$	46,107,285.23
Presupuesto general	$	5,013,577,237.50
% incremento presupuesto		0.92

Tabla 40. *Relación de costos por la implementación sistema de recirculación de aguas grises.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

- **Para uso en inodoros:** para implementar el uso en inodoros y lavadoras, se hace una relación entre los sanitarios y punto para lavadora, para lo cual es 2/3 y se aplica a la modelación económica anterior, dando un porcentaje cercano al 1% de incremento del presupuesto. Ver tabla 41.

- **Para uso en lavadoras:** para implementar el uso en inodoros y lavadoras, se hace una relación entre los sanitarios y punto para lavadora, para lo cual es 1/3 y se aplica a la modelación económica anterior, dando un porcentaje cercano al 1% de incremento del presupuesto. Ver tabla 41.

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA RECIRCULACIÓN AGUAS LLUVIAS EDIFICIO BASE		
Precio tanque 2000 lts plástico	$	881,380.00
Precio 2 motobombas tipo lápiz de 15 HP	$	22,672,954.00
Precio aprox equipo de control	$	3,000,000.00
Precio aprox 50% tubería agua fría	$	19,552,951.23
valor adicional del presupuesto	$	46,107,285.23
Presupuesto general	$	5,013,577,237.50
% incremento presupuesto		0.92
Relación sanitarios vs lavadora 2/3		3/5
Relación lavadora vs sanitario 1/3		1/3

Tabla 41, 42 y 43. *Relación de costos por la implementación sistema de recirculación de aguas grises y lluvias.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

AA.3.3. Para riego en áreas comunes:

Para implementar el riego en zonas comunes, se hace una relación entre los puntos de riego, puntos de aseo y lavado, puntos de inodoros y se aplica a la modelación económica anterior, a cada uno de los anteriores se les aplicara 1/3 del incremento, dando un porcentaje cercano al 1% de incremento del presupuesto. Ver tabla 41.

AA.3.4. para uso en zonas comunes (para aseo y lavado y/o inodoros):

Para implementar el uso en zonas comunes, se hace una relación entre los puntos de riego, puntos de aseo y lavado, puntos de inodoros y se aplica a la modelación económica anterior, a cada uno de los anteriores se les aplicara 1/3 del incremento, dando un porcentaje cercano al 1% de incremento del presupuesto. Ver tabla 42.

- **Para inodoros de zonas comunes:** para implementar el riego en zonas comunes, se hace una relación entre los puntos de riego, puntos de aseo y lavado, puntos de inodoros y se aplica a la modelación económica anterior, a cada uno de los anteriores se les aplicara 1/3 del incremento, dando un porcentaje cercano al 1% de incremento del presupuesto. Ver tablas 43, 44 y 45.

AA.3.5. Para red de sistema contraincendios:

Este ítem no afecta el presupuesto ya que en esta incluido en el presupuesto general todo lo necesario para el sistema contra incendios, solo cambia la fuente de llenado.

TANQUE AGUA 2000 LTS EN PLASTICO					Unidad: UND
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
CODO PRS .1/2x90	UND	4		477.00	1,908.00
FLOTADOR 1 TANQUE	UND	1		78,841.00	78,841.00
LIMPIADOR PVC 300 GRMS	UND	1		21,000.00	21,000.00
SOLDADURA PVC ,1/ 16 GLN	UND	1		22,200.00	22,200.00
TEE PRS PVC .1/2	UND	5		918.00	4,590.00
TUBO PRS 1 RDE-21	ML	1		3,700.00	3,700.00
TUBO PRS 4 RDE-32.5UM	ML	6		16,669.00	100,014.00
VAL BOLA 1"	UND	1		18,900.00	18,900.00
VAL BOLA ,1/2"	UND	4		7,900.00	31,600.00
VALV.CHEQ.HORIZ. ,1/2	UND	1		26,900.00	26,900.00
UNIVERSAL PRS PVC .1/2	UND	1		2,600.00	2,600.00
TANQUE PLASTICO 2000LT	UND	1		446,120.00	446,120.00
				SUBTOTAL MATERIALES	758,373.00
MANO DE OBRA					
M.O. HIDROSANIT. 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	5		23,003.00	115,015.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	115,015.00
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	4.995		1,600.00	7,992.00
				SUBTOTAL EQUIPO	7,992.00
OTROS					
				SUBTOTAL OTROS	-
			COSTO DIRECTO	881,380.00	881,380.00

Tabla 44. Apu tanque de agua plástico de 2000 lats.
Fuente: APUS GOBERNACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA 2020.

BOMBA SUMERG 15 HP LAPICERO 6" A.INOX					Unidad: UND
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
BOM.SUM. 15 HP LAPIC 6"	UND	1		11,008,400.00	11,008,400.00
				SUBTOTAL MATERIALES	11,008,400.00
MANO DE OBRA					
M.O. ELECTRICAS 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	2.5		30,307.00	75,767.50
M.O. HIDROSANIT. 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	3		23,003.00	69,009.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	144,776.50
EQUIPO					
CARRO GRUA 5 TONELADAS	HRS	3.5		51,000.00	178,500.00
HERRAMIENTA MENOR	GLB	3		1,600.00	4,800.00
				SUBTOTAL EQUIPO	183,300.00
OTROS					
				SUBTOTAL OTROS	-
			COSTO DIRECTO	11,336,476.50	11,336,477.00

Tabla 45. Apu Bomba sumergible tipo lapicero de 15 HP.
Fuente: APUS GOBERNACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA 2020.

VERSIÓN BORRADOR

AA.4. REDUCCIÓN DEL IMPACTO DE LAS AGUAS SERVIDAS

AA.4.1. Reducción aguas grises (reutilización riego y uso no potable y/o tratamiento pre-vertimiento).

Pretratamiento de aguas:

Para calcular este capítulo se asumen equipos eficientes del manual, se plantea un sistema similar una piscina gigante con pendiente llena de arenas, gravas, gravillas, y plantas, paredes impermeabilizadas, control de transpiración y control de humedad de especies, para un caudal de 30m3 /diarios totales de aguas grises (aprox. por la cantidad de 50 apartamentos, proveniente de duchas, lavamanos y lavadoras caudal de 0.347 lts/seg) con relación a un proyecto de referencia, aproximadamente $ 48'100.000 precio del sistema de tratamiento, este agua será para usar riego y uso no potable.

- **De aguas grises previo a vertimiento:** para el cálculo de esta estrategia se incrementó un 30% del valor de las instalaciones sanitarias. Ver tabla 46.
- **Reutilización de aguas grises para riego y uso no potable:** Para la implementación de esta estrategia se toma el valor anterior y se le adiciona el precio de un tanque de 30 m³ y el sistema de bombeo. Ver tabla 47.
- **De aguas negras previo a vertimiento:** Para esta estrategia sin tener mayores datos se asumirá precio de diseño de una mini PTAR de un proyecto propio con un costo de 400 millones de pesos, para 27 unidades de vivienda, como en el proyecto se modelo para 50 unidades de vivienda, se tomará como valor 800 millones de pesos. Ver tabla 48.

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA AGUAS GRISES PREVIO AL VERTIMIENTO		
Precio sistema tratamiento	$	48.100.000,00
Precio aprox 30% tubería sanitaria	$	10.528.512,20
valor adicional del presupuesto	$	58.628.512,20
% incremento Presupuesto general	$	1,17

Tabla 46. *Porcentaje incremento al presupuesto general, estrategia sistema agua previa al vertimiento.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA AGUAS GRISES PREVIO CON RECIRCULACIÓN		
Precio sistema tratamiento	$	48,100,000.00
Precio aprox 30% tubería sanitaria	$	10,528,512.20
Precio aprox tanque 30 me plástico + instalación	$	18,000,000.00
Precio 2 motobombas tipo lápiz de 15 HP	$	22,672,954.00
Precio aprox equipo de control	$	3,000,000.00
valor adicional del presupuesto	$	102,301,466.20
% incremento Presupuesto general	$	2.04

Tabla 47. *Porcentaje incremento al presupuesto general, estrategia sistema agua previa al vertimiento.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA TRATAMIENTO AGUAS NEGRAS PREVIO VERTIMIENTO		
PTAR ANAEROBICA 50 UNIDADES DE VIVIENDA	$	800,000,000.00
Presupuesto general	$	5,013,577,237.50
% incremento presupuesto		15.96

Tabla 48. *Porcentaje incremento al presupuesto general, estrategia sistema aguas negras previa al vertimiento.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

Eficiencia y ahorro de energía
Sistemas a implementar – Estrategias (Capítulo 4 – Tomo II)

EE.1. MEDICIÓN Y MONITOREO

EE.1.1. Medición calibrada en cuatro cuadrantes:

Este ítem afecta claramente el presupuesto del proyecto, ya que para esta medición se requiere de una implementación de más medidores, los cuales serán utilizados para sectorizar cuadrantes donde el consumo sea mayor o menor a los demás, a continuación, se indica el incremento en la economía.

EE.1.2. Medición por sectores y centros de consumo:

La instalación de un medidor monofásico por piso afecta económicamente ya que se plantea la instalación de 5 medidores de energía para los pasillos, a continuación, se indica el costo por unidad del medidor y el porcentaje de incidencia que tiene sobre el porcentaje general del presupuesto. Ver tablas 49 y 50.

INSTALACIÓN MEDIDOR MONOFÁSICO					Unidad: UND ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
ENCAUCHETADO 3x12	ML	20	0	4,800.00	96,000.00
MEDIDOR MONOFÁSICO	UND	1	0	88,000.00	88,000.00
				SUBTOTAL MATERIALES	184,000.00
MANO DE OBRA					
M.O. ING. ELÉCTRICO	HC	2		32,331.00	64,662.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	64,662.00
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	10		1,600.00	16,000.00
				SUBTOTAL EQUIPO	16,000.00
			COSTO DIRECTO	264,662.00	264,662.00

Tabla 49. *Análisis de precio unitario de medidor monofásico.*
Fuente: *APUS GOBERNACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA 2020.*

MEDIDOR ZONAS COMUNES EDIFICIO	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5,013,577,237.50
COSTO DE MEDIDORES	1,323,310.00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LOS MEDIDORES	0.03

Tabla 50. *Porcentaje de incidencia del medidor de zonas comunes en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

EE.1.3. Monitoreo remoto en tiempo real – evaluación de matriz horaria:

Afecta económicamente el presupuesto ya que se necesita instalación de un monitoreo remoto con transformadores y un sistema fotovoltaico. Ver tablas 51 y 52.

TRANSFORMADOR MONITOREO					Unidad: UND ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
ENCAUCHETADO 3x12	ML	15	0	4.800.00	72.000.00
SISTEMA DE TRANSFORMADOR PARA M	UND	1	0	1.300.000.00	1.300.000.00
				SUBTOTAL MATERIALES	1.372.000.00
MANO DE OBRA					
M.O. ELÉCTRICOS 1 AYU- 1 OFI	HC	2		32.331.00	64.662.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	64.662.00
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	10		1.600.00	16.000.00
				SUBTOTAL EQUIPO	16.000.00
			COSTO DIRECTO	1.452.662.00	1.452.662.00

Tabla 51. Análisis de precio unitario de transformador de monitoreo.
Fuente: elaboración propia, 2021.

TRANSFORMADOR MONITOREO ZONAS COMUNES	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5,013,577,237.50
COSTO DE TRANSFORMADOR DE MONITOREO	1,452,662.00
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL TRANSFORMADOR EN EL PRESUPUESTO GRAL..	0.03

Tabla 52. Porcentaje de incidencia del transformador de zonas comunes en el presupuesto general.
Fuente: elaboración propia, 2021.

EE.2. EQUIPOS EFICIENTES

EE.2.1. Equipos con etiqueta y calificación de eficiencia energética:

No afecta económicamente el proyecto, debido a que es una exigencia que se le hace al proveedor de los equipos o productos y no un ítem o precio adicional.

EE.2.2. Corrector de factor de frecuencia:

La estrategia de los variadores de frecuencia se aplica a los equipos del proyecto, esto permite que el equipo entre en operación de manera más fluida. Ver tabla 53.

IMPLEMENTACIÓN DE VARIADORES DE FRECUENCIA		
Precio aprox variadores frecuencia equipos presión	$	3,000,000.00
% incremento Presupuesto general	$	0.06

Tabla 53. Porcentaje de incidencia variadores de frecuencia en el presupuesto general.
Fuente: elaboración propia, 2021.

VERSIÓN BORRADOR

EE.3. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

EE.3.1. Controles de ocupación:

Afecta económicamente el presupuesto ya que requiere de la instalación de sensores de movimiento y temporizadores que regulen y ahorren el gasto de energía, se propone una cantidad de 6 sensores por piso, en total estarían dispuestos 30 sensores en el proyecto. Ver tablas 54 y 55.

SENSOR DE MOVIMIENTO					Unidad: UND ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
CABLE ENCAUCHETADO 3x12	ML	20	0	4,800.00	96,000.00
SENSOR MOVIMIENTOS	UND	1	0	84,000.00	84,000.00
				SUBTOTAL MATERIALES	180,000.00
MANO DE OBRA					
M.O. ELÉCTRICOS 1 AYU- 1 OFI	HC	1		32,331.00	32,331.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	32,331.00
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	10		1,600.00	16,000.00
				SUBTOTAL EQUIPO	16,000.00
			COSTO DIRECTO	228,331.00	228,331.00

Tabla 54. *Análisis de precio unitario del sensor de movimiento.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

SENSORES DE MOVIMIENTO	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5,013,577,237.50
COSTO DE SENSORES DE MOVIMIENTO	6,849,930.00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LOS SENSORES EN EL PRESUPUESTO GRAL..	0.14

Tabla 55. *Porcentaje de incidencia de los sensores de movimiento de zonas comunes en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

EE.3.2. Controles de iluminación exterior:

Afecta económicamente el presupuesto ya que requiere de la instalación lámparas exteriores con panel solar y sensores de movimiento. Vert tablas 56, 57 y 58.

LAMPARA SOLAR EXTERIOR 30W					Unidad: UND ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
SENSOR MOVIMIENTOS	UND	1	0	84,000.00	84,000.00
POSTE EN CONCRETO	UND	1	0	300,000.00	300,000.00
PEDESTAL EN CONCRETO	UND	1	0	250,000.00	250,000.00
LAMPARA SOLAR	UND	1	0	359,900.00	359,900.00
				SUBTOTAL MATERIALES	993,900.00
MANO DE OBRA					
M.O. ELÉCTRICOS 1 AYU- 1 OFI	HC	2		32,331.00	64,662.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	64,662.00
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	10		1,600.00	16,000.00
				SUBTOTAL EQUIPO	16,000.00
			COSTO DIRECTO	1,074,562.00	1,074,562.00

Tabla 56. Análisis de precio unitario de lámpara solar exterior.
Fuente: elaboración propia, 2021.

LAMPARA EXTERIOR 30W					Unidad: UND ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
ENCAUCHETADO 3x14	ML	70	0	3,200.00	224,000.00
POSTE EN CONCRETO	UND	1	0	300,000.00	300,000.00
PEDESTAL EN CONCRETO	UND	1	0	250,000.00	250,000.00
LAMPARA 30W	UND	1	0	129,000.00	129,000.00
				SUBTOTAL MATERIALES	903,000.00
MANO DE OBRA					
M.O. ELÉCTRICOS 1 AYU- 1 OFI	HC	2		32,331.00	64,662.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	64,662.00
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	10		1,600.00	16,000.00
				SUBTOTAL EQUIPO	16,000.00
			COSTO DIRECTO	983,662.00	983,662.00

Tabla 57. Análisis de precio unitario de lámpara exterior 30W.
Fuente: elaboración propia, 2021.

LÁMPARAS DE EXTERIORES	
Precio de lampara exterior de 30 Vatios por Unidad	938,662
Precio de lampara exterior solar de 30 vatios por Unidad	1,074,562
Porcentaje de diferencia de precios	13%
Porcentaje de incidencia de la pintura en el proyecto	6.19%
Incremento en % general del presupuesto por cambio a lámparas solares de exterior con sensores	0.78%

Tabla 58. Porcentaje de incidencia de las lámparas exteriores en el presupuesto general.
Fuente: elaboración propia, 2021.

VERSIÓN BORRADOR

EE.3.3. Variadores de frecuencia:

La estrategia de los variadores de frecuencia se aplica a los equipos del proyecto, esto permite que el equipo entre en operación de manera más fluida. Ver tabla 59.

IMPLEMENTACIÓN DE VARIADORES DE FRECUENCIA		
Precio aprox variadores frecuencia equipos presión	$	3.000.000,00
% incremento Presupuesto general	$	0,06

Tabla 59. *Porcentaje de incidencia variadores de frecuencia en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

EE.4 CARGADORES DE V.E.

EE.4.1. Puntos de carga eléctricos:

Afecta económicamente al proyecto ya que es un ítem adicional el cual se discrimina a continuación. Ver tablas 60 y 61.

PUNTO DE CARGA ELÉCTRICO					Unidad: UND ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
ENCAUCHETADO 3x12	ML	10	0	4,800.00	48,000.00
CARGADOR	UND	1	0	3,000,000.00	3,000,000.00
				SUBTOTAL MATERIALES	3,048,000.00
MANO DE OBRA					
M.O. ING. ELÉCTRICO	HC	2		84,788.00	169,576.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	169,576.00
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	10		1,600.00	16,000.00
				SUBTOTAL EQUIPO	16,000.00
			COSTO DIRECTO	3,233,576.00	3,233,576.00

Tabla 60. *Análisis de precio unitario de punto de carga eléctrico.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

PUNTO DE CARGA ELÉCTRICO	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5,013,577,237.50
COSTO DE PUNTOS ELÉCTRICOS	9,700,728.00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LOS PUNTOS DE CARGA ELÉCTRICA	0.19

Tabla 61. *Porcentaje de incidencia del punto de carga en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

EE.5 CALENTAMIENTO SOLAR

EE.5.1. Sistemas de calentamiento de agua solar:

Para la modelación de esta estrategia y por temas de cobro de agua, para cada unidad de vivienda, se modelará con un calentador de 200 lats por unidad de vivienda y se incrementará la tubería de distribución en un 30%. Ver tabla 62.

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA CALENTADOR DE AGUA SOLAR		
Precio calentador solar 200 lts	$	2,500,000.00
Unidades de vivienda	$	50.00
Precio total calentadores	$	125,000,000.00
Precio aprox 30% tubería agua fría	$	14,589,509.76
valor adicional del presupuesto	$	139,589,509.76
Presupuesto general	$	5,013,577,237.50
% incremento presupuesto		2.78

Tabla 62. *Porcentaje de incidencia calentador de agua solar en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

EE.6 GENERACIÓN ELÉCTRICA PARA AUTOCONSUMO

EE.6.1. Cubiertas con soporte de carga estructural de 15 kg/m²:

No afecta el factor económico del proyecto, ya que la vivienda de la línea base cuenta con cubierta de losa en concreto que soporta más del peso requerido.

EE.6.2. Sistemas fv de conexión a red con generación mayor o igual al 10% del consumo de la edificación:

Cada apartamento por día en promedio gasta 4KVA/hora, debido a que son 50 aptos, se necesitarían 455KVA/hora para cumplir con el 10% de consumo. Lo que requiere 12 paneles de 400 VA que ocupan un área de 2m² cada uno, sin embargo, por temas de cobro y consumo en cada unidad de vivienda, se opta por tener un panel por cada unidad de vivienda.

EE.6.3. Sistemas de energía con conexión a red y almacenamiento de energía – sistema hibrido:

Para la instalación del sistema hibrido se tiene en cuenta que debe ser por cada apartamento, este sistema contiene transformador, panel solar y micro inversor los cuales miden la energía que gasta y la que ahorra con la instalación del panel, además se evidencia que afecta en un porcentaje importante el presupuesto general. Ver tablas 63, 64, 65 y 66.

VERSIÓN BORRADOR

TRANSFORMADOR MONITOREO					Unidad: UND ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
ENCAUCHETADO 3x12	ML	15	0	4.800,00	72.000,00
SISTEMA DE TRANSFORMADOR PA	UND	1	0	1300.000,00	1300.000,00
				SUBTOTAL MATERIALES	**1372.000,00**
MANO DE OBRA					
M.O. ELÉCTRICOS 1AYU- 1OFI	HC	2		32.331,00	64.662,00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	**64.662,00**
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	10		1600,00	16.000,00
				SUBTOTAL EQUIPO	**16.000,00**
			COSTO DIRECTO	1452.662,00	**1.452.662,00**

Tabla 63. Análisis de precio unitario del transformador de monitoreo.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

PANEL SOLAR					Unidad: UND ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
PANEL SOLAR 400 Va	UND	1	0	650,000.00	650,000.00
				SUBTOTAL MATERIALES	650,000.00
MANO DE OBRA					
M.O. ELÉCTRICOS 1 AYU-1 OFI	HC	4		32,331.00	129,324.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	129,324.00
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	10		1,600.00	16,000.00
				SUBTOTAL EQUIPO	16,000.00
			COSTO DIRECTO	795,324.00	795,324.00

Tabla 64. Análisis de precio unitario del panel solar de 400Vatios.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

MICRO INVERSOR					Unidad: UND ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
MICRO INVERSOR 600 Va	UND	1	0	900,000.00	900,000.00
				SUBTOTAL MATERIALES	900,000.00
MANO DE OBRA					
M.O. ING. ELÉCTRICO	HC	2		84,788.00	169,576.00
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	169,576.00
EQUIPO					
HERRAMIENTA MENOR	GLB	10		1,600.00	16,000.00
				SUBTOTAL EQUIPO	16,000.00
			COSTO DIRECTO	1,085,576.00	1,085,576.00

Tabla 65. Análisis de precio unitario del micro inversor.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

SISTEMA HIBRIDO PARA TODOS LOS APTOS	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5,013,577,237.50
COSTO DE SISTEMA HIBRIDO (TRANSFORMADOR, MICRO INVERSOR Y PANEL SOLAR	166,678,100.00
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL TRANSFORMADOR EN EL PRESUPUESTO GRAL..	3.32

Tabla 66. Porcentaje de incidencia del sistema hibrido para todos los aptos en el presupuesto general.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

CV.1 MATERAS AUTÓNOMAS

CV.1.1. Con herbáceas perennes:

Este ítem no afecta al presupuesto general del proyecto, ya que este tipo de materas está incluido en el tema de urbanismo exterior de la línea base.

CV.1.2. Con arborización:

Este ítem no afecta al presupuesto general del proyecto, ya que este tipo de materas está incluido en el tema de urbanismo exterior de la línea base.

CV.2. CUBIERTAS TRANSITABLES

CV.2.1. En adoquín peatonal:

La cubierta dura transitable peatonal afecta económicamente el proyecto ya que es un adicional para darle confort y ambiente fresco a la estructura, a continuación, se encuentra discriminado el precio por m2 y el porcentaje de incidencia en el presupuesto general. Se estima un valor de 300m2 de este tipo cubierta, dividido así: 150m2 debajo de los paneles solares y los otros 150m2 que son en zonas de circulación para el mantenimiento de los sistemas (tablas 67 y 68).

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR. UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	125,00	$29.044	$3.630.550
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	125,00	$25.074	$3.134.250
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 1 (ABERTURAS HACIA ABAJO)		M2	110,00	$67.119	$7.383.068
LECHO DE ARENA- ESPESOR 5 CM		M3	7,50	$91.000	$682.500
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$224.000	$896.000
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 15.726.368
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 700.000**
TRANSPORTE					**$ 480.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 16.906.368**
				VALOR X M2	**$ 169.064**
SON: DIECISEIS MILLONES NOVECIENTOS SEIS MIL TRESCIENTOS SESENTA Y OCHO PESOS MCTE					

Tabla 67. *Precios unitarios de la cubierta dura transitable peatonal.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA DURA TRANSITABLE PEATONAL	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DE LA CUBIERTA PEATONAL TRANSITABLE POR M2	169.064,00
COSTO DE LA CUBIERTA PEATONAL TRANSITABLE + ADOQUÍN POR M2	214.664,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (300 M2)	64.399.200,00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA TRANSITABLE EN EL PRESUPUESTO GRAL.	**1,28**

Tabla 68. *Porcentaje de incidencia de la cubierta peatonal en el presupuesto general.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

EN BORRADOR

CV.2.2 En adoquín vehicular:

La cubierta dura para vehículos afecta claramente el presupuesto del proyecto ya que el sistema de drenaje presenta un alto costo de adquisición, a continuación, se discrimina los valores unitarios de ambas opciones y como afecta el presupuesto general del proyecto. Ver tablas 69 y 70 y 71.

VÍA EN MEZCLA ASFÁLTICA					Unidad: M2
					ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MEZCLA ASFÁLTICA	M3	0.1	1.3	550,000.00	71,500.00
BASE TIPO INVIAS	M3	0.15	1.3	75,500.00	14,722.50
SUBBASE TIPO INVIAS	M3	0.2	1.3	74,000.00	19,240.00
RELLENO Y COMPACTACIÓN ROCA MU	M3	0.3	1.3	35,000.00	13,650.00
				TOTAL COSTO DIRECTO	119,112.50

Tabla 69. *Precios unitarios de vía en mezcla asfáltica.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	125,00	$29.044	$3.630.550
MANTA SEPARADORA (2 CAPAS)		M2	220,00	$20.300	$4.466.000
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 4		M2	110,00	$336.025	$36.962.772
FILTRO SISTEMA		M2	110,00	$14.134	$1.554.705
LECHO DE GRAVILLA- ESPESOR 5 CM		M3	5,00	$126.000	$630.000
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 47.244.027
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					$ 1.050.000
TRANSPORTE					$ 500.000
				COSTO DIRECTO	$ 48.794.027
				VALOR X M2	$ 487.940
SON: CUARENTA Y OCHO MILLONES SETECIENTOS NOVENTA Y CUATRO MIL VEINTISIETE PESOS MCTE					

Tabla 70. *Precios unitarios de la cubierta dura transitable vehicular.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA DURA TRANSITABLE PARA VEHÍCULOS LIGEROS	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5,013,577,237.50
COSTO DE LA CUBIERTA VEHICULAR TRANSITABLE POR M2	487,940.00
COSTO DE LA CUBIERTA VEHICULAR TRANSITABLE + ADOQUÍN POR M2	545,440.00
COSTO DE LA VÍA EN MEZCLA ASFÁLTICA POR M2	119,112.50
DIFERENCIA DE COSTOS	426,327.50
PORCENTAJE DE DIFERENCIA	78%
INCIDENCIA DE LAS VÍAS EN EL PRESUPUESTO	2.85%
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA VEHICULAR TRANSITABLE EN EL PRESUPUESTO GRAL..	2.23%

Tabla 71. *Porcentaje de incidencia de la cubierta dura vehicular en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CV.3. CUBIERTAS VEGETADAS SEGÚN SU TIPO

CV.3.1. Extensivas inclinadas

- **10 - 25 grados:** para esta cubierta inclinada hay una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto, relacionando un área de 200m² para esta alternativa. Cabe resaltar que este tipo de inclinación es trabajada con una teja termo acústica (tablas 72 y 73).

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	125,00	$29.044	$3.630.550
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	125,00	$25.074	$3.134.250
PERFIL DIVISOR		ML	40,00	$63.700	$2.548.000
PIEDRA POMEZ BORDILLO PERIMETRAL		M3	0,75	$585.200	$438.900
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 2 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$103.904	$11.429.418
FILTRO DE FINOS		M2	103,40	$14.690	$1.518.967
SUSTRATO ORGÁNICO- ESPESOR 10 A 15 CM		M3	11,75	$163.856	$1.925.308
VEGETACIÓN TIPO AROMÁTICAS		M2	94,00	$72.800	$6.843.200
SISTEMA DE RIEGO CON GOTERO INTEGRADO		ML	270,00	$11.704	$3.160.080
PROGRAMADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO		UND	0,167	$686.000	$114.333
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
VALVULAS SOLENOIDES PCV 3/4"		UND	1,00	$266.266	$266.266
CAJAS PARA VALVULAS SOLENOIDES		UND	1,00	$113.347	$113.347
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 35.298.179
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 780.000**
TRANSPORTE					**$ 450.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 36.528.179**
				VALOR X M2	**$ 365.282**
SON: TREINTA Y SEIS MILLONES QUINIENTOS VEINTIOCHO MIL CIENTO SETENTA Y NUEVE PESOS MCTE					

Tabla 72. *Precios unitarios de la cubierta Laminar Herbácea Perenne.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA LAMINAR CON HERBÁCEAS PERENNES CON INCLINACION 10 - 25 GRADOS	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5,013,577,237.50
COSTO DE LA CUBIERTA CON HERBÁCEAS PERENNES POR M2	365,282.00
INCLINACION 10-25 GRADOS CON TEJA TERMOACUSTICA POR M2	150,000.00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	103,056,400.00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA LAMINAR EN EL PRESUPUESTO GRAL..	2.06%

Tabla 73. *Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar herbácea en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

- **25 - 45 grados:** para esta cubierta inclinada hay una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto, relacionando un área de 200m² para esta alternativa. Cabe resaltar que este tipo de inclinación es trabajada con una teja de barro. Ver tablas 74 y 75.

VERSIÓN PRELIMINAR

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	125,00	$29.044	$3.630.550
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	125,00	$25.074	$3.134.250
PERFIL DIVISOR		ML	40,00	$63.700	$2.548.000
PIEDRA POMEZ BORDILLO PERIMETRAL		M3	0,48	$585.200	$280.896
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 1 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	103,40	$67.119	$6.940.084
FILTRO DE FINOS		M2	103,40	$14.690	$1.518.967
SUSTRATO ORGÁNICO- ESPESOR 8 CM		M3	7,52	$163.856	$1.232.197
VEGETACIÓN TIPO SEDUM TAPIZANTE		M2	94,00	$58.800	$5.527.200
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 24.987.704
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 700.000**
TRANSPORTE					**$ 400.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 26.087.704**
				VALOR X M2	**$ 260.877**
SON: VEINTISEIS MILLONES OCHENTA Y SIETE MIL SETECIENTOS CUATRO PESOS MCTE					

Tabla 74. *Precios unitarios de la cubierta Laminar SEDUM.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA LAMINAR SIN RIEGO - SEDUM CON INCLINACION 25 - 45 GRADOS	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	**5,013,577,237.50**
COSTO DE LA CUBIERTA SEDUM POR M2	**260,877.00**
INCLINACION 25-45 GRADOS CON TEJA DE BARRO POR M2	**150,000.00**
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	**82,175,400.00**
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA SEDUM EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**1.64%**

Tabla 75. *Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar sin riego en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

- **Extensivas planas laminares sin riego:** para esta cubierta vegetal laminar hay una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, relacionando un área de 200m² para esta alternativa, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 76 y 77.

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	125,00	$29.044	$3.630.550
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	125,00	$25.074	$3.134.250
PERFIL DIVISOR		ML	40,00	$63.700	$2.548.000
PIEDRA POMEZ BORDILLO PERIMETRAL		M3	0,48	$585.200	$280.896
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 1 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	103,40	$67.119	$6.940.084
FILTRO DE FINOS		M2	103,40	$14.690	$1.518.967
SUSTRATO ORGÁNICO- ESPESOR 8 CM		M3	7,52	$163.856	$1.232.197
VEGETACIÓN TIPO SEDUM TAPIZANTE		M2	94,00	$58.800	$5.527.200
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 24.987.704
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 700.000**
TRANSPORTE					**$ 400.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 26.087.704**
				VALOR X M2	**$ 260.877**
SON: VEINTISEIS MILLONES OCHENTA Y SIETE MIL SETECIENTOS CUATRO PESOS MCTE					

Tabla 76. *Precios unitarios de la cubierta Laminar SEDUM.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA LAMINAR SIN RIEGO - SEDUM	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	**5,013,577,237.50**
COSTO DE LA CUBIERTA SEDUM POR M2	**260,877.00**
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	**52,175,400.00**
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA SEDUM EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**1.04%**

Tabla 77. *Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar sin riego en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

- **Laminares con riego — cobertura bajo impacto:** para esta cubierta vegetal laminar hay una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, relacionando un área de 200m² para esta alternativa, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tabla 78 y 79.

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	145,00	$29.044	$4.211.438
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	145,00	$25.074	$3.635.730
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 3 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$134.317	$14.774.914
GRAVA EN SISTEMA DE DRENAJE		M3	6,00	$126.000	$756.000
FILTO DE FINOS		M2	140,00	$14.690	$2.056.628
SUSTRATO ORGÁNICO- ESPESOR APROX 0,60 M A 1,00 M		M3	85,00	$163.856	$13.927.760
VEGETACIÓN TIPO COBERTURA (60%)		M2	60,00	$36.400	$2.184.000
VEGETACIÓN TIPO AROMÁTICAS (40%)		M2	40,00	$72.800	$2.912.000
ARBORIZACIÓN PROMEDIO- ALTO 4.00 A 5.00 M (1 UND X 25 M2)		UND	4,00	$420.000	$1.680.000
SISTEMA DE ANCLAJES PARA ARBOLES		UND	4,00	$1.486.708	$5.946.830
SISTEMA DE RIEGO CON GOTERO INTEGRADO		ML	270,00	$11.704	$3.160.080
PROGRAMADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO		UND	0,167	$686.000	$114.333
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
VALVULAS SOLENOIDES PCV 3/4"		UND	1,00	$266.266	$266.266
CAJAS PARA VALVULAS SOLENOIDES		UND	1,00	$113.347	$113.347
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 55.914.887
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 1.150.000**
TRANSPORTE					**$ 850.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 57.914.887**
				VALOR X M2	**$ 579.149**
SON: CINCUENTA Y SIETE MILLONES NOVECIENTOS CATORCE MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y SIETE PESOS MCTE					

Tabla 78. *Precios unitarios de la cubierta Laminar SEDUM.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA LAMINAR CON ARBORIZACIÓN	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	**5,013,577,237.50**
COSTO DE LA CUBIERTA CON ARBORIZACIÓN POR M2	**579,149.00**
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	**115,829,800.00**
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA CON ARBORIZACIÓN EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**2.31%**

Tabla 79. *Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar sin riego en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BO

CV.3.3. intensivas laminares: con cobertura y herbáceas perennes; con herbáceas y arbustos perennes; con arborización

- **Laminares coberturas de alto impacto:** para esta cubierta vegetal laminar hay una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, relacionando un área de 200m2 para esta alternativa, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tabla 80 y 81.

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	134,50	$29.044	$3.906.472
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	134,50	$25.074	$3.372.453
PERFIL DIVISOR		ML	40,00	$63.700	$2.548.000
PIEDRA POMEZ BORDILLO PERIMETRAL		M3	0,60	$585.200	$351.120
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 1 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$67.119	$7.383.068
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 3 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$134.317	$14.774.914
FILTRO DE FINOS (DOBLE)		M2	212,52	$14.690	$3.121.961
SUSTRATO ESTERILIZADO- ESPESOR 10 CM		M3	9,40	$163.856	$1.540.246
VEGETACIÓN TIPO COBERTURA		M2	94,00	$36.400	$3.421.600
SISTEMA DE RIEGO CON GOTERO INTEGRADO		ML	270,00	$11.704	$3.160.080
PROGRAMADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO		UND	0,167	$686.000	$114.333
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
VALVULAS SOLENOIDES PCV 3/4"		UND	1,00	$266.266	$266.266
VALVULA REGULADORA Y CAJA DE CONTROL		UND	1,00	$2.719.297	$2.719.297
CAJAS PARA VALVULAS SOLENOIDES		UND	1,00	$113.347	$113.347
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 46.968.718
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 1.390.000**
TRANSPORTE					**$ 890.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 49.248.718**
				VALOR X M2	**$ 492.487**
SON: CUARENTA Y NUEVE MILLONES DOSCIENTOS CUARENTA Y OCHO MIL SETECIENTOS DIECIOCHO PESOS MCTE					

Tabla 80. *Precios unitarios de la cubierta Reguladora de aguas lluvias.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA LAMINAR REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DE LA CUBIERTA REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS POR M2	492.487,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	98.497.400,00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**1,96%**

Tabla 81. *Porcentaje de incidencia de la cubierta reguladora de aguas lluvias en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

- **Laminares con herbáceas perennes:** para esta cubierta vegetal laminar hay una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, relacionando un área de 200m² para esta alternativa, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tabla 82 y 83.

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	125,00	$29.044	$3.630.550
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	125,00	$25.074	$3.134.250
PERFIL DIVISOR		ML	40,00	$63.700	$2.548.000
PIEDRA POMEZ BORDILLO PERIMETRAL		M3	0,75	$585.200	$438.900
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 2 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$103.904	$11.429.418
FILTRO DE FINOS		M2	103,40	$14.690	$1.518.967
SUSTRATO ORGÁNICO- ESPESOR 10 A 15 CM		M3	11,75	$163.856	$1.925.308
VEGETACIÓN TIPO AROMÁTICAS		M2	94,00	$72.800	$6.843.200
SISTEMA DE RIEGO CON GOTERO INTEGRADO		ML	270,00	$11.704	$3.160.080
PROGRAMADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO		UND	0,167	$686.000	$114.333
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
VALVULAS SOLENOIDES PCV 3/4"		UND	1,00	$266.266	$266.266
CAJAS PARA VALVULAS SOLENOIDES		UND	1,00	$113.347	$113.347
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 35.298.179
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 780.000**
TRANSPORTE					**$ 450.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 36.528.179**
				VALOR X M2	**$ 365.282**
SON: TREINTA Y SEIS MILLONES QUINIENTOS VEINTIOCHO MIL CIENTO SETENTA Y NUEVE PESOS MCTE					

Tabla 82. *Precios unitarios de la cubierta Laminar Herbácea Perenne.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

VERSIÓN BORRADOR

CUBIERTA LAMINAR CON HERBÁCEAS PERENNES	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DE LA CUBIERTA CON HERBÁCEAS PERENNES POR M2	365.282,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	73.056.400,00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA LAMINAR EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**1,46%**

Tabla 83. *Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar con herbáceas perennes en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

- **Laminares con arborización:** para esta cubierta vegetal laminar hay una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, relacionando un área de 200m2 para esta alternativa, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tabla 84 y 85.

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR. UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	145,00	$29.044	$4.211.438
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	145,00	$25.074	$3.635.730
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 3 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$134.317	$14.774.914
GRAVA EN SISTEMA DE DRENAJE		M3	6,00	$126.000	$756.000
FILTO DE FINOS		M2	140,00	$14.690	$2.056.628
SUSTRATO ORGÁNICO- ESPESOR APROX 0,60 M A 1,00 M		M3	85,00	$163.856	$13.927.760
VEGETACIÓN TIPO COBERTURA (60%)		M2	60,00	$36.400	$2.184.000
VEGETACIÓN TIPO AROMÁTICAS (40%)		M2	40,00	$72.800	$2.912.000
ARBORIZACIÓN PROMEDIO- ALTO 4.00 A 5.00 M (1 UND X 25 M2)		UND	4,00	$420.000	$1.680.000
SISTEMA DE ANCLAJES PARA ARBOLES		UND	4,00	$1.486.708	$5.946.830
SISTEMA DE RIEGO CON GOTERO INTEGRADO		ML	270,00	$11.704	$3.160.080
PROGRAMADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO		UND	0,167	$686.000	$114.333
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
VALVULAS SOLENOIDES PCV 3/4"		UND	1,00	$266.266	$266.266
CAJAS PARA VALVULAS SOLENOIDES		UND	1,00	$113.347	$113.347
AREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 55.914.887
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 1.150.000**
TRANSPORTE					**$ 850.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 57.914.887**
				VALOR X M2	**$ 579.149**
SON: CINCUENTA Y SIETE MILLONES NOVECIENTOS CATORCE MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y SIETE PESOS MCTE					

Tabla 84. *Precios unitarios de la cubierta Laminar con arborización.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA LAMINAR CON ARBORIZACIÓN	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DE LA CUBIERTA CON ARBORIZACIÓN POR M2	579.149,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	115.829.800,00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA CON ARBORIZACIÓN EN EL PRESUPUESTO G	**2,31%**

Tabla 85. *Porcentaje de incidencia de la cubierta laminar con arborización en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CV.4. CUBIERTAS VEGETADAS SEGÚN SU GRAN APORTE AMBIENTAL

CV.4.1. Reguladora de aguas lluvias:

Para esta cubierta vegetal laminar hay una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, relacionando un área de 200m² para esta alternativa, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto (tablas 86 y 87).

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	134,50	$29.044	$3.906.472
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	134,50	$25.074	$3.372.453
PERFIL DIVISOR		ML	40,00	$63.700	$2.548.000
PIEDRA POMEZ BORDILLO PERIMETRAL		M3	0,60	$585.200	$351.120
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 1 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$67.119	$7.383.068
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 3 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$134.317	$14.774.914
FILTRO DE FINOS (DOBLE)		M2	212,52	$14.690	$3.121.961
SUSTRATO ESTERILIZADO- ESPESOR 10 CM		M3	9,40	$163.856	$1.540.246
VEGETACIÓN TIPO COBERTURA		M2	94,00	$36.400	$3.421.600
SISTEMA DE RIEGO CON GOTERO INTEGRADO		ML	270,00	$11.704	$3.160.080
PROGRAMADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO		UND	0,167	$686.000	$114.333
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
VALVULAS SOLENOIDES PCV 3/4"		UND	1,00	$266.266	$266.266
VALVULA REGULADORA Y CAJA DE CONTROL		UND	1,00	$2.719.297	$2.719.297
CAJAS PARA VALVULAS SOLENOIDES		UND	1,00	$113.347	$113.347
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 46.968.718
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 1.390.000**
TRANSPORTE					**$ 890.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 49.248.718**
				VALOR X M2	**$ 492.487**
SON: CUARENTA Y NUEVE MILLONES DOSCIENTOS CUARENTA Y OCHO MIL SETECIENTOS DIECIOCHO PESOS MCTE					

Tabla 86. *Precios unitarios de la cubierta Reguladora de aguas lluvias.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA LAMINAR REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DE LA CUBIERTA REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS POR M2	492.487,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	98.497.400,00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**1,96%**

Tabla 87. *Porcentaje de incidencia de la cubierta reguladora de aguas lluvias en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CV.4.2. Reguladora de clima urbano:

Para esta cubierta vegetal reguladora de clima urbano hay una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, relacionando un área de 200m2 para esta alternativa, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 88 y 89.

VERSIÓN

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	125,00	$29.044	$3.630.550
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	125,00	$25.074	$3.134.250
PERFIL DIVISOR		ML	40,00	$63.700	$2.548.000
PIEDRA POMEZ BORDILLO PERIMETRAL		M3	0,60	$585.200	$351.120
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 1 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$67.119	$7.383.068
ZinCo FILTER SHEET SF		M2	103,40	$14.690	$1.518.967
SUSTRATO ORGÁNICO- ESPESOR 10 CM		M3	9,40	$163.856	$1.540.246
VEGETACIÓN DE COBERTURA		M2	94,00	$36.400	$3.421.600
SISTEMA DE RIEGO CON GOTERO INTEGRADO		ML	270,00	$11.704	$3.160.080
PROGRAMADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO		UND	0,167	$686.000	$114.333
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
VALVULAS SOLENOIDES PCV 3/4"		UND	1,00	$266.266	$266.266
CAJAS PARA VALVULAS SOLENOIDES		UND	1,00	$113.347	$113.347
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 27.357.387
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 780.000**
TRANSPORTE					**$ 450.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 28.587.387**
				VALOR X M2	**$ 285.874**
SON: VEINTIOCHO MILLONES QUINIENTOS OCHENTA Y SIETE MIL TRESCIENTOS OCHENTA Y SIETE PESOS MCTE					

Tabla 88. *Precios unitarios de la cubierta Reguladora de clima urbano.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA LAMINAR REGULADORA DE CLIMA URBANO	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DE LA CUBIERTA REGULADORA DE CLIMA URBANO POR M2	285.874,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	57.174.800,00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	1,14%

Tabla 89. *Porcentaje de incidencia de la cubierta reguladora de clima urbano en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CV.4.3. Para energía solar:

Para esta cubierta se propuso una cubierta dura transitable peatonal, la cual va en la parte de debajo de los paneles solares, se obtiene una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, relacionando un área de 150m² para esta alternativa, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver 90 y 91.

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	125,00	$29.044	$3.630.550
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	125,00	$25.074	$3.134.250
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 1 (ABERTURAS HACIA ABAJO)		M2	110,00	$67.119	$7.383.068
LECHO DE ARENA- ESPESOR 5 CM		M3	7,50	$91.000	$682.500
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$224.000	$896.000
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 15.726.368
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 700.000**
TRANSPORTE					**$ 480.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 16.906.368**
				VALOR X M2	**$ 169.064**
SON: DIECISEIS MILLONES NOVECIENTOS SEIS MIL TRESCIENTOS SESENTA Y OCHO PESOS MCTE					

Tabla 90. *Precios unitarios de la cubierta dura transitable peatonal.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

SIÓN BORRAD

CUBIERTA DURA TRANSITABLE PEATONAL	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DE LA CUBIERTA PEATONAL TRANSITABLE POR M2	169.064,00
COSTO DE LA CUBIERTA PEATONAL TRANSITABLE + ADOQUÍN POR M2	214.664,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (150 M2)	32.199.600,00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA TRANSITABLE EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**0,64**

Tabla 91. *Porcentaje de incidencia de la cubierta dura transitable peatonal en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CV.4.4. Biodiversa:

Para esta cubierta vegetal laminar hay una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, se tomó un área de 200m² para esta alternativa, de los cuales 100m² son de cubierta Sedum y los 100m² restantes son de cubierta reguladora de aguas lluvias. A continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 92, 93 y 94.

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	125,00	$29.044	$3.630.550
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	125,00	$25.074	$3.134.250
PERFIL DIVISOR		ML	40,00	$63.700	$2.548.000
PIEDRA POMEZ BORDILLO PERIMETRAL		M3	0,48	$585.200	$280.896
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 1 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	103,40	$67.119	$6.940.084
FILTRO DE FINOS		M2	103,40	$14.690	$1.518.967
SUSTRATO ORGÁNICO- ESPESOR 8 CM		M3	7,52	$163.856	$1.232.197
VEGETACIÓN TIPO SEDUM TAPIZANTE		M2	94,00	$58.800	$5.527.200
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 24.987.704
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 700.000**
TRANSPORTE					**$ 400.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 26.087.704**
				VALOR X M2	**$ 260.877**
SON: VEINTISEIS MILLONES OCHENTA Y SIETE MIL SETECIENTOS CUATRO PESOS MCTE					

Tabla 92. *Precios unitarios de la cubierta Laminar SEDUM.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	134,50	$29.044	$3.906.472
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	134,50	$25.074	$3.372.453
PERFIL DIVISOR		ML	40,00	$63.700	$2.548.000
PIEDRA POMEZ BORDILLO PERIMETRAL		M3	0,60	$585.200	$351.120
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 1 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$67.119	$7.383.068
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 3 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$134.317	$14.774.914
FILTRO DE FINOS (DOBLE)		M2	212,52	$14.690	$3.121.961
SUSTRATO ESTERILIZADO- ESPESOR 10 CM		M3	9,40	$163.856	$1.540.246
VEGETACIÓN TIPO COBERTURA		M2	94,00	$36.400	$3.421.600
SISTEMA DE RIEGO CON GOTERO INTEGRADO		ML	270,00	$11.704	$3.160.080
PROGRAMADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO		UND	0,167	$686.000	$114.333
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
VALVULAS SOLENOIDES PCV 3/4"		UND	1,00	$266.266	$266.266
VALVULA REGULADORA Y CAJA DE CONTROL		UND	1,00	$2.719.297	$2.719.297
CAJAS PARA VALVULAS SOLENOIDES		UND	1,00	$113.347	$113.347
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 46.968.718
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 1.390.000**
TRANSPORTE					**$ 890.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 49.248.718**
				VALOR X M2	**$ 492.487**
SON: CUARENTA Y NUEVE MILLONES DOSCIENTOS CUARENTA Y OCHO MIL SETECIENTOS DIECIOCHO PESOS MCTE					

Tabla 93. *Precios unitarios de la cubierta Reguladora de aguas lluvias.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA LAMINAR SIN RIEGO - SEDUM Y LAMINAR REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DE LA CUBIERTA SEDUM POR M2	260.877,00
COSTO DE LA CUBIERTA REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS POR M2	492.487,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	75.336.400,00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA BIODIVERSA EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**1,50 %**

Tabla 94. *Porcentaje de incidencia de la cubierta biodiversa en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CV.4.5. Para agricultura urbana:

Para esta cubierta vegetal reguladora de clima urbano hay una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, relacionando un área de 200m² para esta alternativa, a continuación, se ve reflejado el precio unitario por metro cuadrado de la cubierta y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 95 y 96.

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR, UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	125,00	$29.044	$3.630.550
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	125,00	$25.074	$3.134.250
PERFIL DIVISOR		ML	40,00	$63.700	$2.548.000
PIEDRA POMEZ BORDILLO PERIMETRAL		M3	0,60	$585.200	$351.120
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 1 (ABERTURAS HACIA ARRIBA)		M2	110,00	$67.119	$7.383.068
ZinCo FILTER SHEET SF		M2	103,40	$14.690	$1.518.967
SUSTRATO ORGÁNICO- ESPESOR 10 CM		M3	9,40	$163.856	$1.540.246
VEGETACIÓN DE COBERTURA		M2	94,00	$36.400	$3.421.600
SISTEMA DE RIEGO CON GOTERO INTEGRADO		ML	270,00	$11.704	$3.160.080
PROGRAMADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO		UND	0,167	$686.000	$114.333
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$43.890	$175.560
VALVULAS SOLENOIDES PCV 3/4"		UND	1,00	$266.266	$266.266
CAJAS PARA VALVULAS SOLENOIDES		UND	1,00	$113.347	$113.347
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 27.357.387
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					**$ 780.000**
TRANSPORTE					**$ 450.000**
				COSTO DIRECTO	**$ 28.587.387**
				VALOR X M2	**$ 285.874**
SON: VEINTIOCHO MILLONES QUINIENTOS OCHENTA Y SIETE MIL TRESCIENTOS OCHENTA Y SIETE PESOS MCTE					

Tabla 95. *Precios unitarios de la cubierta Reguladora de clima urbano.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA LAMINAR REGULADORA DE CLIMA URBANO	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DE LA CUBIERTA REGULADORA DE CLIMA URBANO POR M2	285.874,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (200 M2)	57.174.800,00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**1,14 %**

Tabla 96. *Porcentaje de incidencia de la cubierta reguladora de clima urbana en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CV.5. JARDINES VERTICALES

CV.5.1.Con enredaderas: sobre muros; sobre rejas y estructuras metálicas; sobre guayas y mallas

- **Sobre muros:** para esta Jardín vertical, se tomaron las paredes del lado corto del edificio, las cuales tienen una medida total de 495,3 m², y con la disminución del 31% por ventanas queda en 341,8 M2. Para este jardín se ve claramente una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, a continuación, se está reflejado el precio unitario por metro cuadrado del jardín y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 97 y 98.

ITEMS	Unidad	Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Parcial
ESTRUCTUREA METALICA + ANCLAJES A MURO (CADA 25 CM)	UND	40,00	$50.050	$2.002.000
MATERAS PLASTICAS O METALICAS	UND	10,00	$98.150	$981.500
SUSTRATO ORGÁNICO	M3	4,80	$152.152	$730.330
ESTRUCTUREA METALICA + ANCLAJES A MURO (CADA 25 CM)	UND	40,00	$50.050	$2.002.000
VEGETACIÓN TIPO HERBACEA	UND	250,00	$11.050	$2.762.500
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	ML	60,00	$13.585	$815.100
TIMER DE UNA SALIDA BATERÍA PANTALLA LCD	UND	1	$266.500	$266.500
			SUB TOTAL	$ 9.559.930
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				**$ 525.000**
TRANSPORTE + HERRAMIENTAS				**$ 175.000**
			COSTO DIRECTO	**$ 10.259.930**
			VALOR X M2	**$ 410.397**
SON: SEIS MILLONES CIENTO NOVENTA Y SIETE MIL QUINIENTOS TREINTA Y CINCO PESOS MCTE				

Tabla 97. *Precios unitarios del jardín con enredadera sobre muros.*
Fuente: *AIU JARDINES VERDES.*

ENREDADERA SOBRE MUROS	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DEL JARDIN VERTICAL CON ENREDADERA POR M2	410.397,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN DE JARDIN (341,8M2)	140.273.694,60
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL JARDIN CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**2,80 %**

Tabla 98. *Porcentaje de incidencia de la enredadera sobre muros en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

- **Sobre rejas y estructuras metálicas:** para este jardín de 341,8 m² se ve claramente una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, a continuación, se está reflejado el precio unitario por metro cuadrado del jardín y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 99 y 100.

ITEMS	Unidad	Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Parcial
ESTRUCTUREA METALICA + ANCLAJES A MURO (CADA 25 CM)	UND	40,00	$50.050	$2.002.000
MATERAS PLASTICAS O METALICAS	UND	10,00	$98.150	$981.500
SUSTRATO ORGÁNICO	M3	4,80	$152.152	$730.330
ESTRUCTUREA METALICA + ANCLAJES A MURO (CADA 25 CM)	UND	40,00	$50.050	$2.002.000
VEGETACIÓN TIPO HERBACEA	UND	250,00	$11.050	$2.762.500
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	ML	60,00	$13.585	$815.100
TIMER DE UNA SALIDA BATERÍA PANTALLA LCD	UND	1	$266.500	$266.500
			SUB TOTAL	$ 9.559.930
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				**$ 525.000**
TRANSPORTE + HERRAMIENTAS				**$ 175.000**
			COSTO DIRECTO	**$ 10.259.930**
			VALOR X M2	**$ 410.397**
SON: SEIS MILLONES CIENTO NOVENTA Y SIETE MIL QUINIENTOS TREINTA Y CINCO PESOS MCTE				

Tabla 99. *Precios unitarios del jardín con enredadera sobre e. metálicas.*
Fuente: *AIU JARDINES VERDES.*

VERSIÓN BORRADOR

ENREDADERA SOBRE MUROS	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DEL JARDIN VERTICAL CON ENREDADERA POR M2	410.397,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN DE JARDIN (341,8M2)	140.273.694,60
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL JARDIN CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**2,80 %**

Tabla 100. *Porcentaje de incidencia de la enredadera sobre estructuras metálicas en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

- **Sobre guayas y mayas:** Para este jardín de 341,8 m² se ve claramente una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, a continuación, se está reflejado el precio unitario por metro cuadrado del jardín y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 101 y 102.

ITEMS	Unidad	Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Parcial
REFUERZO SUSTRATO ESTERILIZADO- 5 CM	M3	0,25	$152.152	$38.038
SISTEMA DE GUAYAS + ANCLAJES A MURO (CADA 25 CM)	UND	40,00	$48.334	$1.933.360
VEGETACIÓN TIPO ENREDADERA	UND	40,00	$31.200	$1.248.000
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN SUELO	ML	12,50	$13.585	$169.813
TIMER DE UNA SALIDA BATERÍA PANTALLA LCD	UND	1	$266.500	$266.500
			SUB TOTAL	$ 3.655.711
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				**$ 420.000**
TRANSPORTE + HERRAMIENTAS				**$ 137.500**
			COSTO DIRECTO	**$ 4.213.211**
			VALOR X M2	**$ 168.528**
SON: CUATRO MILLONES DOSCIENTOS TRECE MIL DOSCIENTOS ONCE PESOS MCTE				

Tabla 101. *Precios unitarios del jardín con enredadera sobre guayas.*
Fuente: *AIU JARDINES VERDES.*

ENREDADERA SOBRE GUAYAS	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DEL JARDIN VERTICAL CON ENREDADERA POR M2	168.528,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN DE JARDIN (341,8M2)	57.602.870,40
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL JARDIN CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**1,15%**

Tabla 102. *Porcentaje de incidencia de la enredadera sobre guayas en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

CV.5.2 En contenedores: con materas individuales, o módulos de plástico o metal

- **Con materas individuales:** este ítem no afecta al presupuesto general del proyecto, ya que este tipo de materas está incluido en el tema de urbanismo exterior de la línea base.
- **Con módulos de plástico o metal:** este ítem no afecta al presupuesto general del proyecto, ya que este tipo de materas está incluido en el tema de urbanismo exterior de la línea base.

CV.5.3. Hidropónicos con tubos:

Para este jardín de 341,8 m² se ve claramente una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, a continuación, se está reflejado el precio unitario por metro cuadrado del jardín y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 103 y 104.

ITEMS	Unidad	Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Parcial
ESTRUCTURA METAICA EN ACERO GALVANIZADO	M2	25,00	$24.050	$601.250
LÁMINAS DE PVC ESPUMADO	M2	25,00	$41.600	$1.040.000
CINTA PARA SELLO ENTRE LAS LÁMINAS	ML	50,00	$5.850	$292.500
PRIMER PARA ANCLAJE DE TEXTIL DE HIDRORETENEDOR 5MM	M2	25	$6.760	$169.000
TEXTIL HIDRORETENEDOR 5MM	M2	30,00	$55.250	$1.657.500
TORNILLERIA ANCLAJE INOX DE GEO TEXTIL DE 5 MM DE ESP.	UND	1000	$1.235	$1.235.000
GEOTEXTIL NO TEJIDO DE 5MM DE ESPESOR	M2	30,00	$55.250	$1.657.500
VEGETACIÓN 40 UNIDADES X M2	UND	1000	$7.634	$7.633.600
PERFILES LATERALES	ML	5,00	$15.600	$78.000
TANQUE DE COMPENSACIÓN 1 M3	UN	1,00	$462.800	$462.800
PROGRAMADOR DIGITAL	UND	1	$715.000	$715.000
VALVULAS SOLENOIDES	UND	1	$240.500	$240.500
FERTILIZADOR	UND	1,00	$630.500	$630.500
SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN	ML	14,00	$18.850	$263.900
			SUB TOTAL	$ 16.677.050
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				**$ 845.000**
TRANSPORTE + HERRAMIENTAS				**$ 237.500**
			COSTO DIRECTO	**$ 17.759.550**
			VALOR X M2	**$ 710.382**
SON: NUEVE MILLONES SETECIENTOS SESENTA Y SEIS MIL TRESCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO PESOS MCTE				

Tabla 103. *Precios unitarios del jardín hidropónico.*
Fuente: *AIU JARDINES VERDES.*

JARDIN HIDROPÓNICO	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DEL JARDIN VERTICAL HIDROPÓNICO POR M2	710.382,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN DE JARDIN (341,8M2)	242.808.567,60
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL JARDIN CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**4,84%**

Tabla 104. *Porcentaje de incidencia del jardín vertical hidropónico en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CV.5.4. Hidropónicos con mantas y textiles:

Para este jardín de 341,8 m² se ve claramente una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, a continuación, se está reflejado el precio unitario por metro cuadrado del jardín y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 105 y 106.

ITEMS	Unidad	Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Parcial
ESTRUCTURA METAICA EN ACERO GALVANIZADO	M2	25,00	$24.050	$601.250
LÁMINAS DE PVC ESPUMADO	M2	25,00	$41.600	$1.040.000
CINTA PARA SELLO ENTRE LAS LÁMINAS	ML	50,00	$5.850	$292.500
PRIMER PARA ANCLAJE DE TEXTIL DE HIDRORETENEDOR 5MM	M2	25	$6.760	$169.000
TEXTIL HIDRORETENEDOR 5MM	M2	30,00	$55.250	$1.657.500
TORNILLERIA ANCLAJE INOX DE GEO TEXTIL DE 5 MM DE ESP.	UND	1000	$1.235	$1.235.000
GEOTEXTIL NO TEJIDO DE 5MM DE ESPESOR	M2	30,00	$55.250	$1.657.500
VEGETACIÓN 40 UNIDADES X M2	UND	1000	$7.634	$7.633.600
PERFILES LATERALES	ML	5,00	$15.600	$78.000
TANQUE DE COMPENSACIÓN 1 M3	UN	1,00	$462.800	$462.800
PROGRAMADOR DIGITAL	UND	1	$715.000	$715.000
VALVULAS SOLENOIDES	UND	1	$240.500	$240.500
FERTILIZADOR	UND	1,00	$630.500	$630.500
SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN	ML	14,00	$18.850	$263.900
			SUB TOTAL	$ 16.677.050
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				**$ 845.000**
TRANSPORTE + HERRAMIENTAS				**$ 237.500**
			COSTO DIRECTO	**$ 17.759.550**
			VALOR X M2	**$ 710.382**
SON: NUEVE MILLONES SETECIENTOS SESENTA Y SEIS MIL TRESCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO PESOS MCTE				

Tabla 105. *Precios unitarios del jardín hidropónico.*
Fuente: *AIU JARDINES VERDES.*

VERSIÓN BORRADOR

JARDIN HIDROPÓNICO	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DEL JARDIN VERTICAL HIDROPÓNICO POR M2	710.382,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN DE JARDIN (341,8M2)	242.808.567,60
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL JARDIN CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**4,84%**

Tabla 106. *Porcentaje de incidencia del jardín vertical hidropónico en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CV.5.5 con sustrato: en módulos flexibles o rigidos

- **Con módulos flexibles:** para este jardín de 341,8 m² se ve claramente una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, a continuación, se está reflejado el precio unitario por metro cuadrado del jardín y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 107 y 108.

ITEMS	Unidad	Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Parcial
IMPERMEABILIZACIÓN POSTERIOR MÓDULOS	M2	25,00	$12.227	$305.663
ESTRUCTURA MÓDULOS PLÁSTICOS 100% RECICLADOS	M2	25,00	$40.755	$1.018.875
PAÑOS A MEDIDA **POLYGEOTEXTIL**	M2	25,00	$47.548	$1.188.688
ANCLAJES EN ALUMINIO CON AISLANTE	UND	156	$6.793	$1.061.328
VEGETACION Y SUSTRATO ESTERILIZADO 25 UNIDADES X M2	UND	625	$7.608	$4.754.750
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	ML	36,63	$13.585	$497.551
TIMER DE UNA SALIDA BATERÍA PANTALLA LCD	UND	1	$266.500	$266.500
PERFILES LATERALES	ML	5,00	$15.600	$78.000
			SUB TOTAL	$ 9.171.354
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				**$ 420.000**
TRANSPORTE + HERRAMIENTAS				**$ 175.000**
			COSTO DIRECTO	**$ 9.766.354**
			VALOR X M2	**$ 390.654**
SON: NUEVE MILLONES SETECIENTOS SESENTA Y SEIS MIL TRESCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO PESOS MCTE				

Tabla 107. *Precios unitarios del jardín sema-hidropónico.*
Fuente: *AIU JARDINES VERDES.*

JARDIN SEMIHIDROPÓNICO CON MODULO FLEXIBLE	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DEL JARDIN VERTICAL CON ENREDADERA POR M2	390.654,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN DE JARDIN (341,8M2)	133.525.537,20
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL JARDIN CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**2,66%**

Tabla 108. *Porcentaje de incidencia del jardín vertical sema-hidropónico en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

- **Con módulos rígidos:** para este jardín de 341,8 m² se ve claramente una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, a continuación, se está reflejado el precio unitario por metro cuadrado del jardín y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 109 y 110.

ITEMS	Unidad	Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Parcial
IMPERMEABILIZACIÓN POSTERIOR MÓDULOS	M2	25,00	$12.227	$305.663
ESTRUCTURA MÓDULOS PLÁSTICOS 100% RECICLADOS	M2	25,00	$40.755	$1.018.875
PAÑOS A MEDIDA **POLYGEOTEXTIL**	M2	25,00	$47.548	$1.188.688
ANCLAJES EN ALUMINIO CON AISLANTE	UND	156	$6.793	$1.061.328
VEGETACION Y SUSTRATO ESTERILIZADO 25 UNIDADES X M2	UND	625	$7.608	$4.754.750
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	ML	36,63	$13.585	$497.551
TIMER DE UNA SALIDA BATERÍA PANTALLA LCD	UND	1	$266.500	$266.500
PERFILES LATERALES	ML	5,00	$15.600	$78.000
			SUB TOTAL	$ 9.171.354
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				**$ 420.000**
TRANSPORTE + HERRAMIENTAS				**$ 175.000**
			COSTO DIRECTO	**$ 9.766.354**
			VALOR X M2	**$ 390.654**
SON: NUEVE MILLONES SETECIENTOS SESENTA Y SEIS MIL TRESCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO PESOS MCTE				

Tabla 109. *Precios unitarios del jardín sema-hidropónico*
Fuente: *AIU JARDINES VERDES.*

JARDIN SEMIHIDROPÓNICO CON MODULO RIGIDO	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DEL JARDIN VERTICAL CON ENREDADERA POR M2	390.654,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN DE JARDIN (341,8M2)	133.525.537,20
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL JARDIN CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**2,66%**

Tabla 110. *Porcentaje de incidencia del jardín vertical sema-hidropónico en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

CV.5.6 DE GRAN APORTE AMBIENTAL

- **Protector de fauna silvestre:** para este jardín se toma la mitad de un jardín semi-hidroponico con sustrato y el restante de un jardín sobre guayas, en total un área de 341,8 m², donde se ve claramente una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, a continuación, se está reflejado el precio unitario por metro cuadrado del jardín y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 111, 112 y 113.

ITEMS	Unidad	Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Parcial
REFUERZO SUSTRATO ESTERILIZADO- 5 CM	M3	0,25	$152.152	$38.038
SISTEMA DE GUAYAS + ANCLAJES A MURO (CADA 25 CM)	UND	40,00	$48.334	$1.933.360
VEGETACIÓN TIPO ENREDADERA	UND	40,00	$31.200	$1.248.000
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN SUELO	ML	12,50	$13.585	$169.813
TIMER DE UNA SALIDA BATERÍA PANTALLA LCD	UND	1	$266.500	$266.500
			SUB TOTAL	$ 3.655.711
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				**$ 420.000**
TRANSPORTE + HERRAMIENTAS				**$ 137.500**
			COSTO DIRECTO	**$ 4.213.211**
			VALOR X M2	**$ 168.528**
SON: CUATRO MILLONES DOSCIENTOS TRECE MIL DOSCIENTOS ONCE PESOS MCTE				

Tabla 111. *Precios unitarios del jardín sobre guayas.*
Fuente: *AIU JARDINES VERDES.*

VERSIÓN BORRADOR

ITEMS	Unidad	Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Parcial
IMPERMEABILIZACIÓN POSTERIOR MÓDULOS	M2	25,00	$12.227	$305.663
ESTRUCTURA MÓDULOS PLÁSTICOS 100% RECICLADOS	M2	25,00	$40.755	$1.018.875
PAÑOS A MEDIDA **POLYGEOTEXTIL**	M2	25,00	$47.548	$1.188.688
ANCLAJES EN ALUMINIO CON AISLANTE	UND	156	$6.793	$1.061.328
VEGETACION Y SUSTRATO ESTERILIZADO 25 UNIDADES X M2	UND	625	$7.608	$4.754.750
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	ML	36,63	$13.585	$497.551
TIMER DE UNA SALIDA BATERÍA PANTALLA LCD	UND	1	$266.500	$266.500
PERFILES LATERALES	ML	5,00	$15.600	$78.000
			SUB TOTAL	$ 9.171.354
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				**$ 420.000**
TRANSPORTE + HERRAMIENTAS				**$ 175.000**
			COSTO DIRECTO	**$ 9.766.354**
			VALOR X M2	**$ 390.654**
SON: NUEVE MILLONES SETECIENTOS SESENTA Y SEIS MIL TRESCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO PESOS MCTE				

Tabla 112. *Precios unitarios del jardín sema-hidropónico.*
Fuente: *AIU JARDINES VERDES.*

JARDIN VERTICAL CON ENREDADERA SOBRE GUAYAS Y SEMI-HIDROPÓNICO CON SUSTRATO	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DEL JARDIN VERTICAL CON ENREDADERA SOBRE GUAYAS POR M2	168.528,00
COSTO DEL JARDIN VERTICAL SEMIHIDROPONICO POR M2	390.654,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN DE JARDIN (341,8M2)	95.564.203,80
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL JARDIN CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**1,91%**

Tabla 113. *Porcentaje de incidencia del jardín vertical sema-hidropónico y sobre guayas en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

- **Biofiltrante:** para este jardín de 341,8 m² se ve claramente una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, a continuación, se está reflejado el precio unitario por metro cuadrado del jardín y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 114 y 115.

ITEMS	Unidad	Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Parcial
IMPERMEABILIZACIÓN POSTERIOR MÓDULOS	M2	25,00	$12.227	$305.663
ESTRUCTURA MÓDULOS PLÁSTICOS 100% RECICLADOS	M2	25,00	$40.755	$1.018.875
PAÑOS A MEDIDA **POLYGEOTEXTIL**	M2	25,00	$47.548	$1.188.688
ANCLAJES EN ALUMINIO CON AISLANTE	UND	156	$6.793	$1.061.328
VEGETACION Y SUSTRATO ESTERILIZADO 25 UNIDADES X M2	UND	625	$7.608	$4.754.750
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	ML	36,63	$13.585	$497.551
TIMER DE UNA SALIDA BATERÍA PANTALLA LCD	UND	1	$266.500	$266.500
PERFILES LATERALES	ML	5,00	$15.600	$78.000
			SUB TOTAL	$ 9.171.354
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				**$ 420.000**
TRANSPORTE + HERRAMIENTAS				**$ 175.000**
			COSTO DIRECTO	**$ 9.766.354**
			VALOR X M2	**$ 390.654**
SON: NUEVE MILLONES SETECIENTOS SESENTA Y SEIS MIL TRESCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO PESOS MCTE				

Tabla 114. *Precios unitarios del jardín sema-hidropónico.*
Fuente: *AIU JARDINES VERDES.*

NO BORRAR

JARDIN SEMIHIDROPÓNICO CON MODULO RIGIDO	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DEL JARDIN VERTICAL CON ENREDADERA POR M2	390.654,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN DE JARDIN (341,8M2)	133.525.537,20
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL JARDIN CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**2,66%**

Tabla 115. *Porcentaje de incidencia del jardín vertical sema-hidropónico en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

- **Para agricultura urbana:** para este jardín de 341,8 m² se ve claramente una afectación negativa en el presupuesto del proyecto, a continuación, se está reflejado el precio unitario por metro cuadrado del jardín y cuál es su incidencia en el costo total del proyecto. Ver tablas 116 y 117.

ITEMS	Unidad	Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Parcial
IMPERMEABILIZACIÓN POSTERIOR MÓDULOS	M2	25,00	$12.227	$305.663
ESTRUCTURA PLÁSTICA 100% RECICLADA	M2	25,00	$40.755	$1.018.875
PAÑOS A MEDIDA **POLYGEOTEXTIL**	M2	25,00	$47.548	$1.188.688
ANCLAJES EN ALUMINIO CON AISLANTE	UND	156	$6.793	$1.061.328
VEGETACION Y SUSTRATO ESTERILIZADO 25 UNIDADES X M2	UND	625	$11.570	$7.231.250
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	ML	36,63	$13.585	$497.551
TIMER DE UNA SALIDA BATERÍA PANTALLA LCD	UND	1	$266.500	$266.500
PERFILES LATERALES	ML	5,00	$15.600	$78.000
			SUB TOTAL	$ 11.647.854
MANO DE OBRA INSTALACIÓN				**$ 420.000**
TRANSPORTE + HERRAMIENTAS				**$ 175.000**
			COSTO DIRECTO	**$ 12.242.854**
			VALOR X M2	**$ 489.714**
SON: NUEVE MILLONES SETECIENTOS SESENTA Y SEIS MIL TRESCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO PESOS MCTE				

Tabla 116. *Precios unitarios del jardín sema-hidropónico.*
Fuente: *AIU JARDINES VERDES.*

JARDÍN SEMIHIDROPÓNICO CON SUSTRATO Y SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DEL JARDÍN VERTICAL SEMI-HIDROPÓNICO POR M2	489.714,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN DE JARDÍN (341,8M2)	167.384.245,20
PORCENTAJE INCIDENCIA DEL JARDÍN CON EN EL PRESUPUESTO GRAL..	**3,34%**

Tabla 117. *Porcentaje de incidencia del jardín vertical sema-hidropónico en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

DE.1 EN EL EDIFICIO Y/O LA PROPIEDAD.

DE.1.1 Materiales de cubierta (cubierta transitable peatonal):

La cubierta transitable peatonal afecta económicamente el proyecto ya que es un adicional para darle confort y ambiente fresco a la estructura, a continuación, se encuentra discriminado el precio por m² y el porcentaje de incidencia en el presupuesto general. Ver tablas 118 y 119.

ITEMS		UND	CANTIDAD	VR. UNIT.	VR. PARCIAL
BARRERA ANTIRAICES		M2	125,00	$29.044	$3.630.550
MANTO DE PROTECCIÓN		M2	125,00	$25.074	$3.134.250
SISTEMA DE DRENAJE RECICLADO TIPO 1 (ABERTURAS HACIA ABAJO)		M2	110,00	$67.119	$7.383.068
LECHO DE ARENA- ESPESOR 5 CM		M3	7,50	$91.000	$682.500
MÓDULO DE MANTENIMIENTO Y PROTECTOR DE SIFÓN		UND	4,00	$224.000	$896.000
ÁREA CUBIERTA AJARDINADA=	100,00	M2		SUB TOTAL	$ 15.726.368
MANO DE OBRA INSTALACIÓN					$ 700.000
TRANSPORTE					$ 480.000
				COSTO DIRECTO	$ 16.906.368
				VALOR X M2	$ 169.064
SON: DIECISEIS MILLONES NOVECIENTOS SEIS MIL TRESCIENTOS SESENTA Y OCHO PESOS MCTE					

Tabla 118. *Precios unitarios de la cubierta dura transitable peatonal.*
Fuente: *AIU CUBIERTAS VERDES.*

CUBIERTA DURA TRANSITABLE PEATONAL	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DE LA CUBIERTA PEATONAL TRANSITABLE POR M2	169.064,00
COSTO DE LA CUBIERTA PEATONAL TRANSITABLE + ADOQUÍN POR M2	214.664,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN CUBIERTA (150 M2)	32.199.600,00
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA CUBIERTA TRANSITABLE EN EL PRESUPUESTO GRAL..	0,64

Tabla 119. *Porcentaje de incidencia de la cubierta dura transitable peatonal en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

DE.1.2. Áreas comunes – diseño urbanístico orientado al agua:

Estas implementaciones se hacen desde la concepción del proyecto, aquí con un debido manejo de las curvas de nivel, permitirá identificar zonas de terrazas y lo más importantes las zonas donde se pueden fabricar lagunas de balance hídrico que permitan manejar dentro del proyecto sus aguas lluvias, esto no incide en el costo del proyecto.

VERSIÓN PRELIMINAR

DE.2. REDUCCIÓN DE LA ESCORRENTÍA

DE.2.1. Desconexión de zonas impermeables:

Esta estrategia se implementa en la etapa de diseño del edificio, el sistema de agua lluvia no hace descarga directa al sistema de la ciudad, no debería implementar el precio del edificio.

DE.2.2 Tanques en muros, exteriores y sótanos:

Para este ítem se utilizara datos de diseño similares a los del área privada del capítulo de aprovechamiento de agua, para una cubierta de 760m² se tiene un potencial de captación de 54m³/mes es decir 1.8 m³ día, con lo cual se podría tener un tanque de 2000 litros polietileno.

Los equipos de presión se calcularon con el punto más lejano ubicado en el quinto piso y consultando con un proveedor local arrojo como resultado una de 15HP tipo lápiz por el bajo mantenimiento, además se instalan dos para tener contingencia. Ver tabla 120.

IMPLEMENTACION DE SISTEMA RECIRCULACION AGUAS LLUVIAS PAISAJISMO EDIFICIO BASE		
Precio manguera de 1/2"	$	22.672.954,00
Precio microaspersores	$	3.000.000,00
Precio aprox equipo de control	$	3.000.000,00
Precio aprox 50 % tuberia agua fria	$	46.107.285,23
valor adicional del presupuesto	$	74.780.239,23
% Incremento Presupuesto general	$	0,92

Tabla 120. *Porcentaje de sistema de recirculación de aguas lluvias, con tanque en muros exteriores y sótanos, en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

DE.3 AUMENTO DE LA FILTRACIÓN DEL TERRENO

DE.3.1. Zanjas filtrantes:

Esta estrategia permite manejar en el urbanismo las aguas superficiales, permitiendo que se infiltren en el terreno y así la carga pluvial no afectara los sistemas de la cuidad, esto se incluye en la etapa de diseño del proyecto y no afecta el presupuesto.

DE.3.2 Jardines de bioretención:

No tiene incremento en el presupuesto general, ya que se puede proporcionar a partir de un bien uso de recursos de la obra, organizando el terreno de manera que el agua fluya hacia el subsuelo.

DE.3.3 Estacionamientos filtrantes:

Esta estrategia consiste en cambiar el sistema de parqueadero tradicional de asfalto o concreto a un sistema que permita infiltrar el agua, básicamente no cambiar la estructura interna sino solo el asfalto por el adoquín.

Realizando este cambio el presupuesto se vería afectado de forma positiva de la siguiente manera. Ver tablas 121, 122 y 123.

VERSIÓN BORRADOR

VÍA EN MEZCLA ASFÁLTICA					Unidad: M2 ITEM:
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MEZCLA ASFÁLTICA	M3	0,1	1,3	550.000,00	71500,00
BASE TIPO INVIAS	M3	0,15	1,3	75.500,00	14.722,50
SUBBASE TIPO INVIAS	M3	0,2	1,3	74.000,00	19.240,00
RELLENO Y COMPACTACIÓN ROCA	M3	0,3	1,3	35.000,00	13.650,00
				TOTAL COSTO DIRECTO	119.112,50

Tabla 121. *Precios unitarios de vía en mezcla asfáltica.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

20-04-01-ADOQUIN CONCRETO VEHICULAR CRUZ					M2
ITEM - Descripción	Unidad	Cant	Desper	Vr/Unitario	Vr/Parcial
000210-ARENA FINA	M3	0,001	0,00	39.500	40
000224-ARENA GRUESA	M3	0,003	0,00	39.500	119
004834-ADOQ.CONCR.VEHIC.CRUZ	UND	20,000	0,00	1.350	27.000
MOAG11-MANO OBRA ALBANILERIA 1 AYUDANTE-1 OFI	HC	1,000	0,00	23.093	23.093
MQ0301-HERRAMIENTA MENOR	GLB	0,010	0,00	1.600	16

Materiales	Equipo	AIU	SubTotal	Mano de Obra	Otros	VALOR TOTAL
27.158	16	0	27.174	23.093	0	$50.267

Tabla 122. *Precios unitarios de adoquín en concreto vehicular.*
Fuente: *APUS GOBERNACIÓN DEL VALLE 2020.*

ADOQUIN EN CONCRETO PARA VIA VEHICULAR	
COSTO GENERAL DEL EDIFICIO	5.013.577.237,50
COSTO DE LA VIA EN MEZCLA ASFALTICA POR M2	119.112,50
COSTO DE LA VIA SIN MEZCLA ASFALTICA POR M2	47.612,50
COSTO DEL ADOQUIN EN CONCRETO POR M2	50.267,00
COSTO DE LA VIA EN ADOQUIN DE CONCRETO POR M2	97.879,50
DIFERENCIA DE COSTOS	21233,00
PORCENTAJE DE DIFERENCIA	18%
INCIDENCIA DE LAS VIAS EN EL PRESUPUESTO	2,85%
PORCENTAJE INCIDENCIA DE LA IMPLEMENTACION DEL ADOQUIN EN CONCRETO EN EL PRESUPUESTO GRAL.	**0,51%**

Tabla 123. *Porcentaje de incidencia de la cubierta dura vehicular en el presupuesto general.*
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

Análisis estrategias

El costo directo de obra es uno de los aspectos analizados para determinar el aporte a la sostenibilidad de cada una de las estrategias planteadas en el MCS, que sirve para ponderar con puntos a cada una de las acciones en construcción sostenible.

Se calculó el posible aumento en el costo directo de obra de cada una de las acciones, comparado con la práctica habitual determinada como linea base para cada tipología de edificación, definidas en la Resolución 0549.

- Si el incremento económico es 0%, la puntuación es 0.
- Si el incremento económico esta entre el 0% y el 1%, la puntuación es 1.
- Si el incremento económico es mayor al 1%, la puntuación es 2.

Estrategia cero (tabla 124):

Se identificaron las estrategias de construcción sostenible que no representan incrementos en el costo directo de obra para comprobar si es posible, a partir de estas, lograr las diferentes categorías del Sello Cali Construye Sostenible, tanto a escala Urbana como a escala Edificatoria.

Estrategia cero y uno (tabla 125):

Para esta se implementó tanto en urbanismo como en la edificación, estrategias que tengan impacto cero y uno en el presupuesto, este valor es tomado del análisis de cada estrategia y cruzado con la puntuación de la matriz, de los valores uno se priorizo a las de mayor puntaje, además, no se tuvo en cuenta algunas de las estrategias de impacto uno, que puntuaban, pero aumentaban el porcentaje en el presupuesto, así se logró alcanzar oro en las dos categorías, dando como resultado oro en urbanismo 70 y bronce en la edificación 79. estas le permitirán al constructor implementarlas según su facilidad, implementando estas se podría tener un ahorro en urbanismo del 0,39% del valor del presupuesto y un incremento en la edificación del 4 % del valor del presupuesto.

Estrategia rural (tabla 126):

En esta estrategia se pensó en un proyecto rural, utilizando solo estrategias implementables en suelo de este tipo complementando con estrategias de impacto cero en el presupuesto en el urbanismo y en las de la edificación en cero y uno, este valor es tomado de la matriz; Dando como resultado oro en urbanismo 68 puntos y bronce en la edificación 79 puntos. estas le permitirán al constructor implementarlas según su facilidad, además un ahorro en urbanismo del 0,61% del valor del presupuesto, pero un incremento del 10% en la edificación.

Estrategia urbana (tabla 127):

En esta estrategia se pensó en un proyecto urbano, utilizando solo estrategias implementables en suelo de este tipo complementando con estrategias de impacto cero en el presupuesto en urbanismo y las de la edificación en cero y uno, este valor es tomado de la matriz.

Dando como resultado oro en urbanismo 70 puntos y bronce en la edificación 79 puntos. estas le permitirán al constructor implementarlas según su facilidad, con un amplio rango en el urbanismo y la edificación.

VERSIÓN BORRADOR

SISTEMAS A IMPLEMENTAR					PUNTUACION	IMPACTO	SOBRECOSTO DIRECTO	ESTRATEGIA O	% ECONOMICO	
URBANISMO SOSTENIBLE	1. EDIFICABILIDAD	US.	1	PROYECTO UBICADO EN SUELO URBANO	8	0	0	8	0	X
		US.	2	REDUCCIÓN ÍNDICE DE OCUPACIÓN		0	0		0	X
		US.	3	APROVECHAMIENTO DEL INDICE DE CONSTRUCCIÓN MÁXIMO PERMITIDO		0	0		0	X
		US.	4	EDIFICACIÓN DE USOS MIXTOS		0	0		0	X
		US.	5	RECICLAJE / REUSO DE EDIFICACION EXISTENTE		0	0		0	X
	2. RIESGO	US.	1	CONTROL DE ZONAS EN AMENAZA / RIESGO	3	0	0	3	0	X
	3. VERDE URBANO	US.	1	CONSOLIDACIÓN DE BOSQUES URBANOS EN VERDE URBANO	10	0	0	10	0	X
		US.	2	ESPACIO PÚBLICO SUPERFICIES VEGETADAS		0	0		0	X
		US.	3	ESPECIES ARBÓREAS ADAPTADAS A CONDICIONES CLIMÁTICAS		0	0		0	X
		US.	4	COBERTURA VEGETAL EN AREAS BLANDAS DE AISLAMIENTO, ANTEJARDINES Y TALUDES		0	0		0	X
	4. SOCIAL	US.	1	ACCESO A EQUIPAMIENTOS COLECTIVOS	3	0	0	3	0	X
		US.	2	VINCULACION SOCIAL AL PROYECTO		0	0		0	X
		US.	3	VINCULACIÓN LABORAL DE PERSONAS RESIDENTES EN EL ENTORNO		0	0		0	X
	5. MOVILIDAD	US.	1	CONSTRUCCIÓN DE CICLO BANDA EN CANTIDAD Y CALIDAD ÓPTIMA	7	0	0	7	0	X
		US.	2	CONSTRUCCIÓN DE SENDAS PEATONALES EN CANTIDAD Y CALIDAD ÓPTIMA		0	0		0	X
		US.	3	ACCESO AL SISTEMA DE TRANSPORTE		0	0		0	X
		US.	4	PARQUEADEROS COMPACTOS		0	0		0	X
		US.	5	INCLUSION DE CICLOPARQUEADEROS ADICIONALES		0	0		0	X
	6. ENERGÍA	US.	1	ALUMBRADO PÚBLICO DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO Y EFICIENTE EN CALIDAD/CANTIDAD DE LUZ	3	0	0	3	0	X
		US.	2	IMPLEMENTACIÓN O CONSUMO ENERGÉTICO DE DISTRITOS TÉRMICOS		0	0		0	X
	7. AGUA	US.	1	INFRAESTRUCTURA URBANA PARA REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA	2	0	0	2	0	X
		US.	2	TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ANTES DE ENTREGA A FUENTE HÍDRICA		2	1.17		2	
	8. MATERIALES	US.	1	REEMPLAZO DE AGREGADOS NATURALES POR RECICLADOS Y CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS	10	0	-0.61	0	0	X
		US.	2	MATERIALES DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA, BAJA HUELLA HÍDRICA Y CARBONO		0	0		0	X
		US.	3	FUNCIONES AUTONÓMICAS PARA PURIFICACIÓN DEL AIRE, AUTOLIMPIEZA, AUTOREPARACIÓN		3	58.73		2	
		US.	4	PINTURAS CON BAJO CONTENIDO DE VOC'S		2	1.04		2	
		US.	5	MINIMIZAR SUPERFICIES IMPERMEABLES EN EDIFICACIÓN Y CONTEXTO		2	1.96		2	
		US.	6	MINIMIZAR SUPERFICIES ABSORBENTES DE RADIACIÓN SOLAR		2	2.66		2	
		US.	7	SOMBREAR SUPERFICIES ABSORBENTES DE RADICACIÓN SOLAR		2	2.66		2	
	9. CONSTRUCCIÓN	US.	1	ENTRENAMIENTO OPERARIOS MANEJO EFICIENTE DE MAQUINARIA	4	0	0	4	0	X
		US.	2	CONTROL DE EMISIONES EN TUBOS DE ESCAPE DE LOS EQUIPOS		0	0		0	X
		US.	3	RENOVACIÓN DE MOTORES DE MAQUINARIA Y VEHÍCULOS UTILIZADOS		0	0		0	X
		US.	4	EMPLEO DE BIODISEL O COMBUSTIBLES DE BAJO ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN		1	0.1507		1	
		US.	5	LIMPIEZA DE VEHÍCULOS A LA SALIDA DE OBRA		0	0		0	X
	10. ACCIONES PARA LA CONSERVACIÓN	US.	1	AFECTACIONES AMBIENTALES	8	0	0	8	0	X
		US.	2	CONCEPTO AMBIENTAL DE OBRA		0	0		0	X
		US.	3	PLAN DE MANEJO DE FAUNA SILVESTRE		0	0		0	X
		US.	4	AUMENTAR SERVICIOS ECOSISTEMICOS EN EL PLAN DE COBERTURAS VEGETALES (SILVICULTURA)		0	0		0	X
SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE	1. EN LAS VÍAS	DU	1	BORDILLOS DE CUNETAS Y ANDENES	12	0	0	12	0	X
		DU	2	ALCORQUES – CONTENEDORES DE ARBOLES		0	0		0	X
		DU	3	SEPARADORES CON ZANJAS FILTRANTES O CANALES VEGETADOS		0	0		0	X
		DU	4	ANDENES CON PAVIMENTO PERMEABLE Y/O FRANJAS FILTRANTES		1	0.07		1	
		DU	5	CALLES ESTRECHAS Y/O APROVECHAMIENTO BAHÍAS*		0	0		0	X
		DU	6	CALLES COMPARTIDAS*		0	0		0	X
		DU	7	ECO BOULEVARES*		0	0		0	X
	2. ESPACIO ABIERTO	DU	1	ÁREAS DE CONSERVACIÓN – BOSQUES URBANOS*	10	0	0	10	0	X
		DU	2	PARQUES DE TRATAMIENTO – HUMEDALES ARTIFICIALES		0	0		0	X
		DU	3	ESTANQUES DE DETENCIÓN MULTIFUNCIONALES		0	0		0	X
		DU	4	CONECTAR ESPACIOS VERDES – CORREDORES*		0	0		0	X
				PUNTUACION TOTAL	80	PUNTUACION ESTRATEGIA		70		

BORRADOR

SISTEMAS A IMPLEMENTAR					PUNTUACION	IMPACTO	SOBRECOSTO DIRECTO	ESTRATEGIA O	IMPACTO ECONOMICO	
CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR	1.ORIENTACIÓN Y FORMA	CE.	1	ORIENTACIÓN Y FORMA DEL EDIFICIO	4	0	0	4	0	X
	2. PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS	CE.	1	PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS ORIENTADOS ESTE Y OESTE	5	2	3.02	0	2	
		CE.	2	PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS ORIENTADOS NORTE Y SUR		2	3.02		2	
	3. APERTURAS Y VANOS	CE.	1	RELACIÓN VENTANA-PARED ENTRE 30% Y 40%	8	1	0.92	0	1	
		CE.	2	GEOMETRÍA DE VENTANAS TIPO CINTA		0	0		0	X
		CE.	3	VENTILACIÓN CRUZADA MEDIANTE VENTANAS OPERABLES EN CARAS OPUESTAS O ADYACENTES DE LOS ESPACIOS		3	4.86		2	
	4. CARACTERISTICAS DE LA ENVOLVENTE	CE.	1	ENVOLVENTE VERTICAL CON UN VALOR U DE 1.21 W/m2°K O INFERIOR	6	2	2.08	0	2	
		CE.	2	ENVOLVENTE VERTICAL DE COLORES CLAROS CON UN VALOR DE REFLECTIVIDAD IGUAL O SUPERIOR AL 0.6		0	0		0	X
		CE.	3	CUBIERTA CON VALOR U IGUAL O INFERIOR A 0,5 W/m2°K.		2	1.46		2	
	5.CONFORT LUMÍNICO EN EDIFICACIONES	CE.	1	CONTROL DEL DESLUMBRAMIENTO	10	0	0	10	0	X
		CE.	2	COEFICIENTE DE LUZ DIURNA ADECUADO CON LA ACTIVIDAD A DESEMPEÑAR EN EL ESPACIO		0	0		0	X
		CE.	3	UNIFORMIDAD LUMÍNICA		0	0		0	X
		CE.	4	ACABADO DE LOS INTERIORES CON UNA REFLECTIVIDAD IGUAL O INFERIOR A 0,6		0	0		0	X
		CE.	5	PROFUNDIDAD, ALTURA Y VENTANA EN LA EDIFICACIÓN		0	0		0	X
MATERIALES SUSTENTABLES	1. APROVECHAMIENTO RCD Y SIMBIOSIS	MS.	1	INFRAESTRUCTURA CON MATERIALES CON REEMPLAZO DEL 30% DE AGREGADOS NATURALES Y CEMENTANTES ALTERNATIVOS	3	0	-0.61	3	-0.61	X
	2. PROCESOS LIMPIOS E INNOVACIÓN	MS.	1	INFRAESTRUCTURA CON MATERIALES DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA, Y BAJAS HUELLAS HÍDRICA Y DE CARBONO	3	0	0	3	0	X
		MS.	2	INFRAESTRUCTURA CON FUNCIONES AUTONÓMICAS PARA PURIFICACIÓN DEL AIRE, AUTOLIMPIEZA, AUTO REPARACIÓN		3	58.63		2	
	3. RECUBRIMIENTOS	MS.	1	PINTURAS CON BAJO CONTENIDO DE VOC'S	1	2	1.04	0	2	
	4.COORDINACIÓN DISEÑOS Y PROCESOS	MS.	1	COORDINACIÓN EN EL DISEÑO PARA REDUCIR RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN	3	0	0	3	0	X
		MS.	2	OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS MEDIANTE PRODUCCIÓN INDUSTRIALIZADA		0	0		0	X
		MS.	3	SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE PERMITAN ADAPATACIÓN Y CAMBIO DE USO EN EL TIEMPO DE MANERA SENCILLA		0	0		0	X
	5. DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTOS Y MATERIAS PRIMAS	MS.	1	USO EXCLUSIVO DE MADERAS JÓVENES CULTIVADAS (SE RECOMIENDA INCLUIR CON FUENTE DE MATERIAS PRIMAS)	3	0	0	3	0	X
		MS.	2	USO DE MATERIAS PRIMAS EXTRAÍDAS DE LA FUENTE DE FORMA RESPONSABLE		0	0		0	X
		MS.	3	USO DE MATERIALES CON CERTIFICACIÓN DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA Y BAJAS HUELLAS HÍDRICA Y CARBONO		0	0		0	X
EFICIENCIA Y AHORRO DE AGUA	1. EQUIPOS SANITARIOS EFICIENTES	AA.	1	UNIDADES PRIVADAS (VIVIENDA, HABITACIÓN HOTEL, LOCAL, OFICINA, ETC.)	4	0	0	4	0	X
		AA.	2	APARATOS SANITARIOS EN AREAS COMUNES		0	0		0	X
		AA.	3	ASEO Y MANTENIMIENTO DE AREAS COMUNES		0	0		0	X
	2. JARDINERIA Y PAISAJISMO EFICIENTE EN AGUA	AA.	1	SISTEMA DE RIEGO EFICIENTE (POR MICRO ASPERSIÓN O POR GOTEO)	7	0	0	7	0	X
		AA.	2	SELECCIÓN DE ESPECIES NATIVAS DE BAJA DEMANDA DE AGUA		0	0		0	X
		AA.	3	RETENCION DE HUMEDAD (POR MANTOS ORGANICOS Y/O MATERAS - DELIMITACION)		0	0		0	X
		AA.	4	AGRUPACIÓN DE PLANTAS POR NECESIDADES DE AGUA		0	0		0	X
	3. REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS	AA.	1	DURANTE LA OBRA (PARA USO EN INODOROS DEL CAMPAMENTO O ASEO Y LIMPIEZA EN OBRA)	9	0	0	0	0	X
		AA.	2	PARA USO EN AREAS PRIVADAS (EN INODOROS Y/O LAVADORAS)		1	0.613		1	
		AA.	3	PARA RIEGO EN AREAS COMUNES		1	0.552		1	
		AA.	4	PARA USO ZONAS COMUNES (PARA ASEO Y LAVADO Y/O EN INODOROS)		1	0.368		1	
		AA.	5	PARA RED DE SISTEMA CONTRAINCENDIOS		0	0		0	X
	4. REDUCCION DEL IMPACTO DE LAS AGUAS SERVIDAS	AA.	1	REDUCCION AGUAS GRISES (REUTILIZACION RIEGO Y USO NO POTABLE Y/O TRATAMIENTO PRE-VERTIMIENTO)	1	1	1.17	0	2	

ADOR

EFICIENCIA Y AHORRO DE ENERGÍA	1. MEDICIÓN Y MONITOREO	EE.	1	MEDICIÓN CALIBRADA EN 4 CUADRANTES	5	1	0.03	0	1	
		EE.	2	MEDICIÓN POR SECTORES Y CENTROS DE CONSUMO		1	0.03		1	
		EE.	3	MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL - EVALUACIÓN DE MATRIZ HORARIA		1	0.03		1	
	2. EQUIPOS EFICIENTES	EE.	1	EQUIPOS CON ETIQUETA Y CALIFICACIÓN A DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	3	0	0	3	0	X
		EE.	2	CORRECTOR DE FACTOR DE POTENCIA		1	0.06		1	
	3. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL	EE.	1	CONTROLES DE OCUPACIÓN	4	1	0.14	0	1	
		EE.	2	CONTROLES DE ILUMINACIÓN EXTERIOR		1	0.78		1	
		EE.	3	VARIADORES DE FRECUENCIA		1	0.06		1	
	4. CARGADORES DE V.E.	EE.	1	PUNTOS DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELECTRICOS	2	1	0.19	0	1	
	5. CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA	EE.	1	SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA SOLAR	2	2	2.78	0	2	
	6. GENERACIÓN ELECTRICA PARA AUTOCONSUMO	EE.	1	CUBIERTAS CON SOPORTE DE CARGA ESTRUCTURAL DE 15 KG/M2	4	0	0	0	0	X
		EE.	2	SISTEMAS FV DE CONEXIÓN A RED CON GENERACIÓN MAYOR O IGUAL AL 10% DEL CONSUMO DE LA EDIFICACIÓN		3	3.32		2	
		EE.	3	SISTEMAS DE ENERGÍA CON CONEXIÓN A RED Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA - SISTEMA HIBRIDO		3	3.32		2	
INFRAESTRUCTURA VERDE	1. MATERAS AUTONOMAS	CV.	1	CON HERBÁCEAS PERENNES	1	0	0	1	0	X
		CV.	2	CON ARBORIZACIÓN		0	0		0	X
	2. CUBIERTAS TRANSITABLES	CV.	1	EN ADOQUÍN PEATONAL	3	2	1.28	0	2	
		CV.	2	EN ADOQUÍN VEHICULAR		2	2.23		2	
	3. CUBIERTAS VEGETADAS SEGÚN SU TIPO	CV.	1	EXTENSIVAS INCLINADAS	4	2	2.06	0	2	
		CV.	2	EXTENSIVAS PLANAS: LAMINARES SIN RIEGO - SEDUM; LAMINARES CON RIEGO - COBERTURAS BAJO IMPACTO		2	2.31		2	
		CV.	3	INTENSIVAS LAMINARES: CON COBERTURA Y HERBACEAS PERENNES; CON HERBACEAS Y ARBUSTOS PERENNES; CON ARBORIZACIÓN		2	2.31		2	
	4. CUBIERTAS VEGETDAS SEGÚN SU GRAN APORTE AMBIENTAL	CV.	1	REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS	12	2	1.96	0	2	
		CV.	2	REGULADORA DE CLIMA URBANO		2	1.14		2	
		CV.	3	PARA ENERGÍA SOLAR		1	0.64		1	
		CV.	4	BIODIVERSA		2	1.5		2	
		CV.	5	PARA AGRICULTURA URBANA		2	1.14		2	
	5. JARDINES VERTICALES	CV.	1	CON ENREDADERAS: SOBRE MUROS; SOBRE REJAS Y ESTRUCTURAS METÁLICAS; SOBRE GUAYAS Y MALLAS	8	2	2.8	0	2	
		CV.	2	EN CONTENEDORES: CON MATERAS INDIVIDUALES, O MÓDULOS DE PLÁSTICO O METAL		0	0		0	X
		CV.	3	HIDROPÓNICOS CON TUBOS		3	4.84		2	
		CV.	4	HIDROPÓNICOS CON MANTAS Y TEXTILES		3	4.84		2	
		CV.	5	CON SUSTRATO: EN MÓDULOS FLEXIBLES O RIGIDOS		2	2.66		2	
		CV.	6	DE GRAN APORTE AMBIENTAL: PROTECTOR DE FAUNA SILVESTRE, BIOFILTRANTE O PARA AGRICULTURA URBANA		3	3.34		2	
SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (ESCALA EDIFICIO)	1. EN EL EDIFICIO Y/O LA PROPIEDAD	DU	1	MATERIALES DE CUBIERTA*	3	1	0.64	3	1	
		DU	2	ÁREAS COMUNES - DISEÑO URBANÍSTICO ORIENTADO AL AGUA		0	0		0	X
	2. REDUCCION DE LA ESCORRENTÍA	DU	1	DESCONEXIÓN DE ZONAS IMPERMEABLES	2	0	0	2	0	X
		DU	2	TANQUES EN MUROS, EXTERIORES Y SÓTANOS		1	0.92		1	
	3. AUMENTO DE LA FILTRACIÓN DEL TERRENO	DU	1	ZANJAS FILTRANTES	5	0	0	5	0	X
		DU	2	JARDINES DE BIORETENCIÓN		0	0		0	X
		DU	3	ESTACIONAMIENTOS FILTRANTES		1	0.91		1	
				PUNTUACION TOTAL	125	PUNTUACION ESTRATEGIA		51		

Tabla 124. Análisis de implementación de estrategia 0 vs. Impacto general y económico.
Fuente: elaboración propia, 2021.

VERSIÓN ADOP

SISTEMAS A IMPLEMENTAR					PUNTUACION	IMPACTO	SOBRECOSTO DIRECTO	ESTRATEGIA O Y	% ECONOMICO	
URBANISMO SOSTENIBLE	1. EDIFICABILIDAD	US.	1	PROYECTO UBICADO EN SUELO URBANO	8	0	0	8	0	X
		US.	2	REDUCCIÓN ÍNDICE DE OCUPACIÓN		0	0		0	X
		US.	3	APROVECHAMIENTO DEL ÍNDICE DE CONSTRUCCIÓN MÁXIMO PERMITIDO		0	0		0	X
		US.	4	EDIFICACIÓN DE USOS MIXTOS		0	0		0	X
		US.	5	RECICLAJE / REUSO DE EDIFICACIÓN EXISTENTE		0	0		0	X
	2. RIESGO	US.	1	CONTROL DE ZONAS EN AMENAZA / RIESGO	3	0	0	3	0	X
	3. VERDE URBANO	US.	1	CONSOLIDACIÓN DE BOSQUES URBANOS EN VERDE URBANO	10	0	0	10	0	X
		US.	2	ESPACIO PÚBLICO SUPERFICIES VEGETADAS		0	0		0	X
		US.	3	ESPECIES ARBÓREAS ADAPTADAS A CONDICIONES CLIMÁTICAS		0	0		0	X
		US.	4	COBERTURA VEGETAL EN ÁREAS BLANDAS DE AISLAMIENTO, ANTEJARDINES Y TALUDES					0	
	4. SOCIAL	US.	1	ACCESO A EQUIPAMIENTOS COLECTIVOS	3	0	0	3	0	X
		US.	2	VINCULACIÓN SOCIAL AL PROYECTO		0	0		0	X
		US.	3	VINCULACIÓN LABORAL DE PERSONAS RESIDENTES EN EL ENTORNO		0	0		0	X
	5. MOVILIDAD	US.	1	CONSTRUCCIÓN DE CICLO BANDA EN CANTIDAD Y CALIDAD ÓPTIMA	7	0	0	7	0	X
		US.	2	CONSTRUCCIÓN DE SENDAS PEATONALES EN CANTIDAD Y CALIDAD ÓPTIMA		0	0		0	X
		US.	3	ACCESO AL SISTEMA DE TRANSPORTE		0	0		0	X
		US.	4	PARQUEADEROS COMPACTOS		0	0		0	X
		US.	5	INCLUSIÓN DE CICLOPARQUEADEROS ADICIONALES					0	
	6. ENERGÍA	US.	1	ALUMBRADO PÚBLICO DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO Y EFICIENTE EN CALIDAD/CANTIDAD DE LUZ	3	0	0	3	0	X
		US.	2	UTILIZACIÓN/CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA A TRAVÉS DE UN DISTRITO TÉRMICO		0	0		0	X
	7. AGUA	US.	1	INFRAESTRUCTURA URBANA PARA REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA	2	0	0	2	0	X
		US.	2	TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ANTES DE ENTREGA A FUENTE HÍDRICA		2	1.17		2	
	8. MATERIALES	US.	1	REEMPLAZO DE AGREGADOS NATURALES POR RECICLADOS Y CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS	10	0	-0.61	0	0	X
		US.	2	MATERIALES DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA, BAJA HUELLA HÍDRICA Y CARBONO		0	0		0	X
		US.	3	FUNCIONES AUTONÓMICAS PARA PURIFICACIÓN DEL AIRE, AUTOLIMPIEZA, AUTOREPARACIÓN		3	58.73		2	
		US.	4	PINTURAS CON BAJO CONTENIDO DE VOC'S		2	1.04		2	
		US.	5	MINIMIZAR SUPERFICIES IMPERMEABLES EN EDIFICACIÓN Y CONTEXTO		2	1.96		2	
		US.	6	MINIMIZAR SUPERFICIES ABSORBENTES DE RADIACIÓN SOLAR		2	2.66		2	
		US.	7	SOMBREAR SUPERFICIES ABSORBENTES DE RADICACIÓN SOLAR		2	2.66		2	
	9. CONSTRUCCIÓN	US.	1	ENTRENAMIENTO OPERARIOS MANEJO EFICIENTE DE MAQUINARIA	4	0	0	4	0	X
		US.	2	CONTROL DE EMISIONES EN TUBOS DE ESCAPE DE LOS EQUIPOS		0	0		0	X
		US.	3	RENOVACIÓN DE MOTORES DE MAQUINARIA Y VEHÍCULOS UTILIZADOS		0	0		0	X
		US.	4	EMPLEO DE BIODISEL O COMBUSTIBLES DE BAJO ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN		1	0.1507		1	X
		US.	5	LIMPIEZA DE VEHÍCULOS A LA SALIDA DE OBRA		0	0		0	X
	10. ACCIONES PARA LA CONSERVACIÓN	US.	1	AFECTACIONES AMBIENTALES	8	0	0	8	0	X
		US.	2	CONCEPTO AMBIENTAL DE OBRA		0	0		0	X
		US.	3	PLAN DE MANEJO DE FAUNA SILVESTRE		0	0		0	X
		US.	4	AUMENTAR SERVICIOS ECOSISTEMICOS EN EL PLAN DE COBERTURAS VEGETALES (SILVICULTURA)		0	0		0	X
SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE	1. EN LA CALLE	DU	1	BORDILLOS DE CUNETAS Y ANDENES	12	0	0	12	0	X
		DU	2	ALCORQUES - CONTENEDORES DE ARBOLES		0	0		0	X
		DU	3	SEPARADORES CON ZANJAS FILTRANTES O CANALES VEGETADOS		0	0		0	X
		DU	4	ANDENES CON PAVIMENTO PERMEABLE Y/O FRANJAS FILTRANTES		1	0.07		1	X
		DU	5	CALLES ESTRECHAS Y/O APROVECHAMIENTO BAHÍAS*		0	0		0	X
		DU	6	CALLES COMPARTIDAS*		0	0		0	X
		DU	7	ECO BOULEVARES*		0	0		0	X
	2. ESPACIO ABIERTO	DU	1	ÁREAS DE CONSERVACIÓN - BOSQUES URBANOS	10	0	0	10	0	X
		DU	2	PARQUES DE TRATAMIENTO - HUMEDALES ARTIFICIALES		0	0		0	X
		DU	3	ESTANQUES DE DETENCIÓN MULTIFUNCIONALES		0	0		0	X
		DU	4	CONECTAR ESPACIOS VERDES - CORREDORES		0	0		0	X
				PUNTUACION TOTAL	80	PUNTUACION ESTRATEGIA		70		

ADOP

SISTEMAS A IMPLEMENTAR					PUNTUACION	IMPACTO	SOBRECOSTO DIRECTO	ESTRATEGIA O Y	IMPACTO ECONOMICO	
CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR	1.ORIENTACIÓN Y FORMA	CE.	1	ORIENTACIÓN Y FORMA DEL EDIFICIO	4	0	0	4	0	X
	2. PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS	CE.	1	PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS ORIENTADOS ESTE Y OESTE	5	2	3.02	0	2	
		CE.	2	PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS ORIENTADOS NORTE Y SUR		2	3.02		2	
	3. APERTURAS Y VANOS	CE.	1	RELACIÓN VENTANA-PARED ENTRE 30% Y 40%	8	1	0.92	8	1	X
		CE.	2	GEOMETRÍA DE VENTANAS TIPO CINTA		0	0		0	X
		CE.	3	VENTILACIÓN CRUZADA MEDIANTE VENTANAS OPERABLES EN CARAS OPUESTAS O ADYACENTES DE LOS ESPACIOS		3	4.86		2	
	4. CARACTERISTICAS DE LA ENVOLVENTE	CE.	1	ENVOLVENTE VERTICAL CON UN VALOR U DE 1.21 W/m2°K O INFERIOR	6	2	2.08	0	2	
		CE.	2	ENVOLVENTE VERTICAL DE COLORES CLAROS CON UN VALOR DE REFLECTIVIDAD IGUAL O SUPERIOR AL 0.6		0	0		0	X
		CE.	3	CUBIERTA CON VALOR U IGUAL O INFERIOR A 0.5 W/m2°K.		2	1.46		2	
	5.CONFORT LUMÍNICO EN EDIFICACIONES	CE.	1	CONTROL DEL DESLUMBRAMIENTO	10	0	0	10	0	X
		CE.	2	COEFICIENTE DE LUZ DIURNA ADECUADO CON LA ACTIVIDAD A DESEMPEÑAR EN EL ESPACIO		0	0		0	X
		CE.	3	UNIFORMIDAD LUMINICA		0	0		0	X
		CE.	4	ACABADO DE LOS INTERIORES CON UNA REFLECTIVIDAD IGUAL O INFERIOR A 0.6		0	0		0	X
		CE.	5	PROFUNDIDAD, ALTURA Y VENTANA EN LA EDIFICACIÓN		0	0		0	X
MATERIALES SUSTENTABLES	1. APROVECHAMIENTO RCD Y SIMBIOSIS	MS.	1	INFRAESTRUCTURA CON MATERIALES CON REEMPLAZO DEL 30% DE AGREGADOS NATURALES Y CEMENTANTES ALTERNATIVOS	3	0	-0.61	3	-0.61	X
	2. PROCESOS LIMPIOS E INNOVACIÓN	MS.	1	INFRAESTRUCTURA CON MATERIALES DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA, Y BAJAS HUELLAS HÍDRICA Y DE CARBONO	3	0	0	3	0	X
		MS.	2	INFRAESTRUCTURA CON FUNCIONES AUTONÓMICAS PARA PURIFICACIÓN DEL AIRE, AUTOLIMPIEZA, AUTO REPARACIÓN		3	58.63		2	
	3. RECUBRIMIENTOS	MS.	1	PINTURAS CON BAJO CONTENIDO DE VOC'S	1	2	1.04	0	2	
	4.COORDINACIÓN DISEÑOS Y PROCESOS	MS.	1	COORDINACIÓN EN EL DISEÑO PARA REDUCIR RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN	3	0	0	3	0	X
		MS.	2	OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS MEDIANTE PRODUCCIÓN INDUSTRIALIZADA		0	0		0	X
		MS.	3	SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE PERMITAN ADAPATACIÓN Y CAMBIO DE USO EN EL TIEMPO DE MANERA SENCILLA		0	0		0	X
	5. DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTOS Y MATERIAS PRIMAS	MS.	1	USO EXCLUSIVO DE MADERAS JÓVENES CULTIVADAS (SE RECOMIENDA INCLUIR CON FUENTE DE MATERIAS PRIMAS)	3	0	0	3	0	X
		MS.	2	USO DE MATERIAS PRIMAS EXTRAÍDAS DE LA FUENTE DE FORMA RESPONSABLE		0	0		0	X
		MS.	3	USO DE MATERIALES CON CERTIFICACIÓN DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA Y BAJAS HUELLAS HÍDRICA Y CARBONO		0	0		0	X
EFICIENCIA Y AHORRO DE AGUA	1. EQUIPOS SANITARIOS EFICIENTES	AA.	1	UNIDADES PRIVADAS (VIVIENDA, HABITACIÓN HOTEL, LOCAL, OFICINA, ETC.)	4	0	0	4	0	X
		AA.	2	APARATOS SANITARIOS EN AREAS COMUNES		0	0		0	X
		AA.	3	ASEO Y MANTENIMIENTO DE AREAS COMUNES		0	0		0	X
	2. JARDINERIA Y PAISAJISMO EFICIENTE EN AGUA	AA.	1	SISTEMA DE RIEGO EFICIENTE (POR MICRO ASPERSIÓN O POR GOTEO)	7	1	0.552	7	0.552	X
		AA.	2	SELECCIÓN DE ESPECIES NATIVAS DE BAJA DEMANDA DE AGUA		0	0		0	X
		AA.	3	RETENCIÓN DE HUMEDAD POR MANTOS ORGÁNICOS		0	0		0	X
		AA.	4	AGRUPACIÓN DE PLANTAS POR NECESIDADES DE AGUA		0	0		0	X
	3. REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS	AA.	1	DURANTE LA OBRA (PARA USO EN INODOROS DEL CAMPAMENTO O ASEO Y LIMPIEZA EN OBRA)	9	0	0	9	0	X
		AA.	2	PARA USO EN AREAS PRIVADAS (EN INODOROS Y/O LAVADORAS)		1	0.61		1	X
		AA.	3	PARA RIEGO EN AREAS COMUNES		1	0.368		1	X
		AA.	4	PARA USO ZONAS COMUNES (PARA ASEO Y LAVADO Y/O EN INODOROS)		1	0.31		1	X
		AA.	5	PARA RED DE SISTEMA CONTRAINCENDIOS		0	0		0	
	4. REDUCCION DEL IMPACTO DE LAS AGUAS SERVIDAS	AA.	1	REDUCCION AGUAS GRISES (REUTILIZACION RIEGO Y USO NO POTABLE Y/O TRATAMIENTO PRE-VERTIMIENTO)	1	3	15.96	0	2	

ADOF

EFICIENCIA Y AHORRO DE ENERGÍA	1. MEDICIÓN Y MONITOREO	EE.	1	MEDICIÓN CALIBRADA EN 4 CUADRANTES	5	1	0.03	5	1	X
		EE.	2	MEDICIÓN POR SECTORES Y CENTROS DE CONSUMO		1	0.03		1	X
		EE.	3	MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL – EVALUACIÓN DE MATRIZ HORARIA		1	0.03		1	X
	2. EQUIPOS EFICIENTES	EE.	1	EQUIPOS CON ETIQUETA Y CALIFICACIÓN A DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	3	0	0	3	0	X
		EE.	2	CORRECTOR DE FACTOR DE POTENCIA		1	0.06		1	X
	3. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL	EE.	1	CONTROLES DE OCUPACIÓN	4	1	0.14	4	1	X
		EE.	2	CONTROLES DE ILUMINACIÓN EXTERIOR		1	0.78		1	X
		EE.	3	VARIADORES DE FRECUENCIA		1	0.06		1	X
	4. CARGADORES DE V.E.	EE.	1	PUNTOS DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELECTRICOS	2	1	0.19	2	1	X
	5. CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA	EE.	1	SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA SOLAR	2	2	2.78	0	2	
	6. GENERACIÓN ELECTRICA PARA AUTOCONSUMO	EE.	1	CUBIERTAS CON SOPORTE DE CARGA ESTRUCTURAL DE 15 KG/M2	4	0	0	0	0	X
		EE.	2	SISTEMAS FV DE CONEXIÓN A RED CON GENERACIÓN MAYOR O IGUAL AL 10% DEL CONSUMO DE LA EDIFICACIÓN		3	3.32		2	
		EE.	3	SISTEMAS DE ENERGÍA CON CONEXIÓN A RED Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA - SISTEMA HIBRIDO		3	3.32		2	
INFRAESTRUCTURA VERDE	1. MATERAS AUTONOMAS	CV.	1	CON HERBÁCEAS PERENNES	1	0	0	1	0	X
		CV.	2	CON ARBORIZACIÓN		0	0		0	X
	2. CUBIERTAS TRANSITABLES	CV.	1	EN ADOQUÍN PEATONAL	3	2	1.28	0	2	
		CV.	2	EN ADOQUÍN VEHICULAR		2	2.25		2	
	3. CUBIERTAS VEGETADAS SEGÚN SU TIPO	CV.	1	EXTENSIVAS INCLINADAS	4	2	2.06	0	2	
		CV.	2	EXTENSIVAS PLANAS: LAMINARES SIN RIEGO – SEDUM; LAMINARES CON RIEGO – COBERTURAS BAJO IMPACTO		2	2.31		2	
		CV.	3	INTENSIVAS LAMINARES: CON COBERTURA Y HERBACEAS PERENNES; CON HERBACEAS Y ARBUSTOS PERENNES; CON ARBORIZACIÓN		2	2.31		2	
	4. CUBIERTAS VEGETDAS SEGÚN SU GRAN APORTE AMBIENTAL	CV.	1	REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS	12	2	1.96	0	2	
		CV.	2	REGULADORA DE CLIMA URBANO		2	1.14		2	
		CV.	3	PARA ENERGÍA SOLAR		1	0.64		1	X
		CV.	4	BIODIVERSA		2	1.5		2	
		CV.	5	PARA AGRICULTURA URBANA		2	1.14		2	
	5. JARDINES VERTICALES	CV.	1	CON ENREDADERAS: SOBRE MUROS; SOBRE REJAS Y ESTRUCTURAS METÁLICAS; SOBRE GUAYAS Y MALLAS	8	2	2.8	0	2	
		CV.	2	EN CONTENEDORES: CON MATERAS INDIVIDUALES, O MÓDULOS DE PLÁSTICO O METAL		0	0		0	X
		CV.	3	HIDROPÓNICOS CON TUBOS		3	4.84		2	
		CV.	4	HIDROPÓNICOS CON MANTAS Y TEXTILES		3	4.84		2	
		CV.	5	CON SUSTRATO: EN MÓDULOS FLEXIBLES O RIGIDOS		2	2.66		2	
		CV.	6	DE GRAN APORTE AMBIENTAL: PROTECTOR DE FAUNA SILVESTRE, BIOFILTRANTE O PARA AGRICULTURA URBANA		3	3.34		2	
SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (ESCALA EDIFICIO	1. EN EL EDIFICIO Y/O LA PROPIEDAD	DU	1	MATERIALES DE CUBIERTA*	3	1	0.64	3	1	
		DU	2	ÁREAS COMUNES - DISEÑO URBANÍSTICO ORIENTADO AL AGUA		0	0		0	X
	2. REDUCCIÓN DE LA ESCORRENTÍA	DU	1	DESCONEXIÓN DE ZONAS IMPERMEABLES	2	0	0	2	0	X
		DU	2	TANQUES EN MUROS, EXTERIORES Y SÓTANOS		1	0.92		1	
	3. AUMENTO DE LA FILTRACIÓN DEL TERRENO	DU	1	ZANJAS FILTRANTES	5	0	0	5	0	X
		DU	2	JARDINES DE BIORETENCIÓN		0	0		0	X
		DU	3	ESTACIONAMIENTOS FILTRANTES		1	0.51		1	X
				PUNTUACION TOTAL	125		PUNTUACION ESTRATEGIA	79		

Tabla 125. Análisis de implementación de estrategia 0 y 1 vs. Impacto general y económico.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN PARA ADOPCIÓN

SISTEMAS A IMPLEMENTAR					PUNTUACION	IMPACTO	SOBRECOSTO DIRECTO	ESTRATEGIA RURAL	IMPACTO ECONOMICO	
URBANISMO SOSTENIBLE	1. EDIFICABILIDAD	US.	1	PROYECTO UBICADO EN SUELO URBANO	8	0	0	8	0	
		US.	2	REDUCCIÓN ÍNDICE DE OCUPACIÓN		0	0		0	X
		US.	3	APROVECHAMIENTO DEL ÍNDICE DE CONSTRUCCIÓN MÁXIMO PERMITIDO		0	0		0	X
		US.	4	EDIFICACIÓN DE USOS MIXTOS		0	0		0	X
		US.	5	RECICLAJE / REUSO DE EDIFICACIÓN EXISTENTE		0	0		0	
	2. RIESGO	US.	1	CONTROL DE ZONAS EN AMENAZA / RIESGO	3	0	0	3	0	X
	3. VERDE URBANO	US.	1	CONSOLIDACIÓN DE BOSQUES URBANOS EN VERDE URBANO	10	0	0	10	0	
		US.	2	ESPACIO PÚBLICO SUPERFICIES VEGETADAS		0	0		0	X
		US.	3	ESPECIES ARBÓREAS ADAPTADAS A CONDICIONES CLIMÁTICAS		0	0		0	X
		US.	4	COBERTURA VEGETAL EN ÁREAS BLANDAS DE AISLAMIENTO, ANTEJARDINES Y TALUDES					0	X
	4. SOCIAL	US.	1	ACCESO A EQUIPAMIENTOS COLECTIVOS	3	0	0	3	0	X
		US.	2	VINCULACIÓN SOCIAL AL PROYECTO		0	0		0	X
		US.	3	VINCULACIÓN LABORAL DE PERSONAS RESIDENTES EN EL ENTORNO		0	0		0	X
	5. MOVILIDAD	US.	1	CONSTRUCCIÓN DE CICLO BANDA EN CANTIDAD Y CALIDAD ÓPTIMA	7	0	0	7	0	
		US.	2	CONSTRUCCIÓN DE SENDAS PEATONALES EN CANTIDAD Y CALIDAD ÓPTIMA		0	0		0	X
		US.	3	ACCESO AL SISTEMA DE TRANSPORTE		0	0		0	X
		US.	4	PARQUEADEROS COMPACTOS		0	0		0	X
		US.	5	INCLUSIÓN DE CICLOPARQUEADEROS ADICIONALES					0	
	6. ENERGÍA	US.	1	ALUMBRADO PÚBLICO DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO Y EFICIENTE EN CALIDAD/CANTIDAD DE LUZ	3	0	0	3	0	X
		US.	2	UTILIZACIÓN/CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA A TRAVÉS DE UN DISTRITO TÉRMICO		0	0		0	X
	7. AGUA	US.	1	INFRAESTRUCTURA URBANA PARA REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA	2	0	0	0	0	
		US.	2	TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ANTES DE ENTREGA A FUENTE HÍDRICA		2	1.17		2	
	8. MATERIALES	US.	1	REEMPLAZO DE AGREGADOS NATURALES POR RECICLADOS Y CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS	10	0	-0.61	0	0	X
		US.	2	MATERIALES DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA, BAJA HUELLA HÍDRICA Y CARBONO		0	0		0	X
		US.	3	FUNCIONES AUTONÓMICAS PARA PURIFICACIÓN DEL AIRE, AUTOLIMPIEZA, AUTOREPARACIÓN		3	58.73		2	
		US.	4	PINTURAS CON BAJO CONTENIDO DE VOC'S		2	1.04		2	
		US.	5	MINIMIZAR SUPERFICIES IMPERMEABLES EN EDIFICACIÓN Y CONTEXTO		2	1.96		2	
		US.	6	MINIMIZAR SUPERFICIES ABSORBENTES DE RADIACIÓN SOLAR		2	2.66		2	
		US.	7	SOMBREAR SUPERFICIES ABSORBENTES DE RADICACIÓN SOLAR		2	2.66		2	
	9. CONSTRUCCIÓN	US.	1	ENTRENAMIENTO OPERARIOS MANEJO EFICIENTE DE MAQUINARIA	4	0	0	4	0	X
		US.	2	CONTROL DE EMISIONES EN TUBOS DE ESCAPE DE LOS EQUIPOS		0	0		0	X
		US.	3	RENOVACIÓN DE MOTORES DE MAQUINARIA Y VEHÍCULOS UTILIZADOS		0	0		0	X
		US.	4	EMPLEO DE BIODISEL O COMBUSTIBLES DE BAJO ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN		1	0.1507		1	
		US.	5	LIMPIEZA DE VEHÍCULOS A LA SALIDA DE OBRA		0	0		0	
	10. ACCIONES PARA LA CONSERVACIÓN	US.	1	AFECTACIONES AMBIENTALES	8	0	0	8	0	X
		US.	2	CONCEPTO AMBIENTAL DE OBRA		0	0		0	X
		US.	3	PLAN DE MANEJO DE FAUNA SILVESTRE		0	0		0	X
		US.	4	AUMENTAR SERVICIOS ECOSISTEMICOS EN EL PLAN DE COBERTURAS VEGETALES (SILVICULTURA)		0	0		0	X
SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE	1. EN LA CALLE	DU	1	BORDILLOS DE CUNETAS Y ANDENES	12	0	0	12	0	X
		DU	2	ALCORQUES - CONTENEDORES DE ARBOLES		0	0		0	X
		DU	3	SEPARADORES CON ZANJAS FILTRANTES O CANALES VEGETADOS		0	0		0	X
		DU	4	ANDENES CON PAVIMENTO PERMEABLE Y/O FRANJAS FILTRANTES		1	0.07		1	
		DU	5	CALLES ESTRECHAS Y/O APROVECHAMIENTO BAHÍAS*		0	0		0	X
		DU	6	CALLES COMPARTIDAS*		0	0		0	X
		DU	7	ECO BOULEVARES*		0	0		0	
	2. ESPACIO ABIERTO	DU	1	ÁREAS DE CONSERVACIÓN - BOSQUES URBANOS	10	0	0	10	0	
		DU	2	PARQUES DE TRATAMIENTO - HUMEDALES ARTIFICIALES		0	0		0	X
		DU	3	ESTANQUES DE DETENCIÓN MULTIFUNCIONALES		0	0		0	X
		DU	4	CONECTAR ESPACIOS VERDES - CORREDORES		0	0		0	X
				PUNTUACION TOTAL	80	PUNTUACION ESTRATEGIA		68		

ADOF

SISTEMAS A IMPLEMENTAR					PUNTUACION	IMPACTO	SOBRECOSTO DIRECTO	ESTRATEGIA RURAL	IMPACTO ECONOMICO	
CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR	1.ORIENTACIÓN Y FORMA	CE.	1	ORIENTACIÓN Y FORMA DEL EDIFICIO	4	0	0	4	0	X
	2. PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS	CE.	1	PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS ORIENTADOS ESTE Y OESTE	5	2	3.02	0	2	
		CE.	2	PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS ORIENTADOS NORTE Y SUR		2	3.02		2	
	3. APERTURAS Y VANOS	CE.	1	RELACIÓN VENTANA-PARED ENTRE 30% Y 40%	8	1	0.92	8	1	X
		CE.	2	GEOMETRÍA DE VENTANAS TIPO CINTA		0	0		0	X
		CE.	3	VENTILACIÓN CRUZADA MEDIANTE VENTANAS OPERABLES EN CARAS OPUESTAS O ADYACENTES DE LOS ESPACIOS		3	4.86		2	
	4. CARACTERISTICAS DE LA ENVOLVENTE	CE.	1	ENVOLVENTE VERTICAL CON UN VALOR U DE 1.21 W/m2°K O INFERIOR	6	2	2.08	0	2	
		CE.	2	ENVOLVENTE VERTICAL DE COLORES CLAROS CON UN VALOR DE REFLECTIVIDAD IGUAL O SUPERIOR AL 0.6		0	0		0	X
		CE.	3	CUBIERTA CON VALOR U IGUAL O INFERIOR A 0.5 W/m2°K.		2	1.46		2	
	5.CONFORT LUMÍNICO EN EDIFICACIONES	CE.	1	CONTROL DEL DESLUMBRAMIENTO	10	0	0	10	0	X
		CE.	2	COEFICIENTE DE LUZ DIURNA ADECUADO CON LA ACTIVIDAD A DESEMPEÑAR EN EL ESPACIO		0	0		0	X
		CE.	3	UNIFORMIDAD LUMÍNICA		0	0		0	X
		CE.	4	ACABADO DE LOS INTERIORES CON UNA REFLECTIVIDAD IGUAL O INFERIOR A 0.6		0	0		0	X
		CE.	5	PROFUNDIDAD, ALTURA Y VENTANA EN LA EDIFICACIÓN		0	0		0	X
MATERIALES SUSTENTABLES	1. APROVECHAMIENTO RCD Y SIMBIOSIS	MS.	1	INFRAESTRUCTURA CON MATERIALES CON REEMPLAZO DEL 30% DE AGREGADOS NATURALES Y CEMENTANTES ALTERNATIVOS	3	0	-0.61	3	-0.61	X
	2. PROCESOS LIMPIOS E INNOVACIÓN	MS.	1	INFRAESTRUCTURA CON MATERIALES DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA, Y BAJAS HUELLAS HÍDRICA Y DE CARBONO	3	0	0	3	0	X
		MS.	2	INFRAESTRUCTURA CON FUNCIONES AUTONÓMICAS PARA PURIFICACIÓN DEL AIRE, AUTOLIMPIEZA, AUTO REPARACIÓN		3	58.63		2	
	3. RECUBRIMIENTOS	MS.	1	PINTURAS CON BAJO CONTENIDO DE VOC'S	1	2	1.04	0	2	
	4.COORDINACIÓN DISEÑOS Y PROCESOS	MS.	1	COORDINACIÓN EN EL DISEÑO PARA REDUCIR RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN	3	0	0	3	0	X
		MS.	2	OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS MEDIANTE PRODUCCIÓN INDUSTRIALIZADA		0	0		0	X
		MS.	3	SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE PERMITAN ADAPATACIÓN Y CAMBIO DE USO EN EL TIEMPO DE MANERA SENCILLA		0	0		0	X
	5. DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTOS Y MATERIAS PRIMAS	MS.	1	USO EXCLUSIVO DE MADERAS JÓVENES CULTIVADAS (SE RECOMIENDA INCLUIR CON FUENTE DE MATERIAS PRIMAS)	3	0	0	3	0	X
		MS.	2	USO DE MATERIAS PRIMAS EXTRAÍDAS DE LA FUENTE DE FORMA RESPONSABLE		0	0		0	X
		MS.	3	USO DE MATERIALES CON CERTIFICACIÓN DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA Y BAJAS HUELLAS HÍDRICA Y CARBONO		0	0		0	X

VERSIÓN ADOPTADA

EFICIENCIA Y AHORRO DE AGUA	1. EQUIPOS SANITARIOS EFICIENTES	AA.	1	UNIDADES PRIVADAS (VIVIENDA, HABITACIÓN HOTEL, LOCAL, OFICINA, ETC.)	4	0	0	4	0	X
		AA.	2	APARATOS SANITARIOS EN AREAS COMUNES		0	0		0	X
		AA.	3	ASEO Y MANTENIMIENTO DE AREAS COMUNES		0	0		0	X
	2. JARDINERIA Y PAISAJISMO EFICIENTE EN AGUA	AA.	1	SISTEMA DE RIEGO EFICIENTE (POR MICRO ASPERSIÓN O POR GOTEO)	7	0	0	7	0	X
		AA.	2	SELECCIÓN DE ESPECIES NATIVAS DE BAJA DEMANDA DE AGUA		0	0		0	X
		AA.	3	RETENCIÓN DE HUMEDAD POR MANTOS ORGÁNICOS		0	0		0	X
		AA.	4	AGRUPACIÓN DE PLANTAS POR NECESIDADES DE AGUA		0	0		0	
	3. REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS	AA.	1	DURANTE LA OBRA (PARA USO EN INODOROS DEL CAMPAMENTO O ASEO Y LIMPIEZA EN OBRA)	9	0	0	9	0	X
		AA.	2	PARA USO EN AREAS PRIVADAS (EN INODOROS Y/O LAVADORAS)		1	0.61		1	X
		AA.	3	PARA RIEGO EN AREAS COMUNES		1	0.55		1	X
		AA.	4	PARA USO ZONAS COMUNES (PARA ASEO Y LAVADO Y/O EN INODOROS)		1	0.37		1	X
		AA.	5	PARA RED DE SISTEMA CONTRAINCENDIOS		0	0		0	X
	4. REDUCCION DEL IMPACTO DE LAS AGUAS SERVIDAS	AA.	1	REDUCCION AGUAS GRISES (REUTILIZACION RIEGO Y USO NO POTABLE Y/O TRATAMIENTO PRE-VERTIMIENTO)	1	3	15.96	0	2	
EFICIENCIA Y AHORRO DE ENERGÍA	1. MEDICIÓN Y MONITOREO	EE.	1	MEDICIÓN CALIBRADA EN 4 CUADRANTES	5	1	0.03	5	1	X
		EE.	2	MEDICIÓN POR SECTORES Y CENTROS DE CONSUMO		1	0.03		1	X
		EE.	3	MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL - EVALUACIÓN DE MATRIZ HORARIA		1	0.03		1	X
	2. EQUIPOS EFICIENTES	EE.	1	EQUIPOS CON ETIQUETA Y CALIFICACIÓN A DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	3	0	0	3	0	X
		EE.	2	CORRECTOR DE FACTOR DE POTENCIA		1	0.06		1	X
	3. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL	EE.	1	CONTROLES DE OCUPACIÓN	4	1	0.14	4	1	X
		EE.	2	CONTROLES DE ILUMINACIÓN EXTERIOR		1	0.78		1	X
		EE.	3	VARIADORES DE FRECUENCIA		1	0.06		1	X
	4. CARGADORES DE V.E.	EE.	1	PUNTOS DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELECTRICOS	2	1	0.19	2	1	X
	5. CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA	EE.	1	SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA SOLAR	2	2	2.78	0	2	
	6. GENERACIÓN ELECTRICA PARA AUTOCONSUMO	EE.	1	CUBIERTAS CON SOPORTE DE CARGA ESTRUCTURAL DE 15 KG/M2	4	0	0	0	0	X
		EE.	2	SISTEMAS FV DE CONEXIÓN A RED CON GENERACIÓN MAYOR O IGUAL AL 10% DEL CONSUMO DE LA EDIFICACIÓN		3	3.32		2	
		EE.	3	SISTEMAS DE ENERGÍA CON CONEXIÓN A RED Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA - SISTEMA HIBRIDO		3	3.32		2	
INFRAESTRUCTURA VERDE	1. MATERAS AUTONOMAS	CV.	1	CON HERBÁCEAS PERENNES	1	0	0	1	0	
		CV.	2	CON ARBORIZACIÓN		0	0		0	X
	2. CUBIERTAS TRANSITABLES	CV.	1	EN ADOQUÍN PEATONAL	3	2	1.28	0	2	
		CV.	2	EN ADOQUÍN VEHICULAR		2	2.23		2	
	3. CUBIERTAS VEGETADAS SEGÚN SU TIPO	CV.	1	EXTENSIVAS INCLINADAS	4	2	2.06	0	2	
		CV.	2	EXTENSIVAS PLANAS: LAMINARES SIN RIEGO - SEDUM; LAMINARES CON RIEGO - COBERTURAS BAJO IMPACTO		2	2.31		2	
		CV.	3	INTENSIVAS LAMINARES: CON COBERTURA Y HERBACEAS PERENNES; CON HERBACEAS Y ARBUSTOS PERENNES; CON ARBORIZACIÓN		2	2.31		2	
	4. CUBIERTAS VEGETDAS SEGÚN SU GRAN APORTE AMBIENTAL	CV.	1	REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS	12	2	1.96	0	2	
		CV.	2	REGULADORA DE CLIMA URBANO		2	1.14		2	
		CV.	3	PARA ENERGÍA SOLAR		1	0.64		1	X
		CV.	4	BIODIVERSA		2	1.5		2	
		CV.	5	PARA AGRICULTURA URBANA		2	1.14		2	
	5. JARDINES VERTICALES	CV.	1	CON ENREDADERAS: SOBRE MUROS; SOBRE REJAS Y ESTRUCTURAS METÁLICAS; SOBRE GUAYAS Y MALLAS	8	2	2.8	0	2	
		CV.	2	EN CONTENEDORES: CON MATERAS INDIVIDUALES, O MÓDULOS DE PLÁSTICO O METAL		0	0		0	X
		CV.	3	HIDROPONICOS CON TUBOS		3	4.84		2	
		CV.	4	HIDROPÓNICOS CON MANTAS Y TEXTILES		3	4.84		2	
		CV.	5	CON SUSTRATO: EN MÓDULOS FLEXIBLES O RIGIDOS		2	2.66		2	
		CV.	6	DE GRAN APORTE AMBIENTAL: PROTECTOR DE FAUNA SILVESTRE, BIOFILTRANTE O PARA AGRICULTURA URBANA		3	3.34		2	
SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (ESCALA EDIFICIO)	1. EN EL EDIFICIO Y/O LA PROPIEDAD	DU	1	MATERIALES DE CUBIERTA*	3	0	0	3	1	X
		DU	2	ÁREAS COMUNES - DISEÑO URBANÍSTICO ORIENTADO AL AGUA		0	0		0	X
	2. REDUCCIÓN DE LA ESCORRENTÍA	DU	1	DESCONEXIÓN DE ZONAS IMPERMEABLES	2	1	0.92	2	0.92	X
		DU	2	TANQUES EN MUROS, EXTERIORES Y SÓTANOS		0	0		1	X
	3. AUMENTO DE LA FILTRACIÓN DEL TERRENO	DU	1	ZANJAS FILTRANTES	5	0	0	5	0	X
		DU	2	JARDINES DE BIORETENCIÓN		1	0.51		0	X
		DU	3	ESTACIONAMIENTOS FILTRANTES					1	X
				PUNTUACION TOTAL	125	PUNTUACION ESTRATEGIA		79		

Tabla 126. Análisis de implementación de estrategia rural vs. Impacto general y económico.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

SISTEMAS A IMPLEMENTAR					PUNTUACION	IMPACTO	SOBRECOSTO DIRECTO	ESTRATEGIA URBANA	IMPACTO ECONOMICO	
URBANISMO SOSTENIBLE	1. EDIFICABILIDAD	US.	1	PROYECTO UBICADO EN SUELO URBANO	8	0	0	8	0	X
		US.	2	REDUCCIÓN ÍNDICE DE OCUPACIÓN		0	0		0	X
		US.	3	APROVECHAMIENTO DEL INDICE DE CONSTRUCCIÓN MÁXIMO PERMITIDO		0	0		0	X
		US.	4	EDIFICACIÓN DE USOS MIXTOS		0	0		0	X
		US.	5	RECICLAJE / REUSO DE EDIFICACIÓN EXISTENTE		0	0		0	X
	2. RIESGO	US.	1	CONTROL DE ZONAS EN AMENAZA / RIESGO	3	0	0	3	0	X
	3. VERDE URBANO	US.	1	CONSOLIDACIÓN DE BOSQUES URBANOS EN VERDE URBANO	10	0	0	10	0	X
		US.	2	ESPACIO PÚBLICO SUPERFICIES VEGETADAS		0	0		0	X
		US.	3	ESPECIES ARBÓREAS ADAPTADAS A CONDICIONES CLIMÁTICAS		0	0		0	X
		US.	4	COBERTURA VEGETAL EN ÁREAS BLANDAS DE AISLAMIENTO, ANTEJARDINES Y TALUDES					0	X
	4. SOCIAL	US.	1	ACCESO A EQUIPAMIENTOS COLECTIVOS	3	0	0	3	0	X
		US.	2	VINCULACIÓN SOCIAL AL PROYECTO		0	0		0	X
		US.	3	VINCULACIÓN LABORAL DE PERSONAS RESIDENTES EN EL ENTORNO		0	0		0	X
	5. MOVILIDAD	US.	1	CONSTRUCCIÓN DE CICLO BANDA EN CANTIDAD Y CALIDAD ÓPTIMA	7	0	0	7	0	X
		US.	2	CONSTRUCCIÓN DE SENDAS PEATONALES EN CANTIDAD Y CALIDAD ÓPTIMA		0	0		0	X
		US.	3	ACCESO AL SISTEMA DE TRANSPORTE		0	0		0	X
		US.	4	PARQUEADEROS COMPACTOS		0	0		0	X
		US.	5	INCLUSIÓN DE CICLOPARQUEADEROS ADICIONALES		0	0		0	X
	6. ENERGÍA	US.	1	ALUMBRADO PÚBLICO DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO Y EFICIENTE EN CALIDAD/CANTIDAD DE LUZ	3	0	0	3	0	X
		US.	2	UTILIZACIÓN/CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA A TRAVÉS DE UN DISTRITO TÉRMICO		0	0		0	X
	7. AGUA	US.	1	INFRAESTRUCTURA URBANA PARA REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA	2	0	0	2	0	X
		US.	2	TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ANTES DE ENTREGA A FUENTE HÍDRICA		2	1.17		2	
	8. MATERIALES	US.	1	REEMPLAZO DE AGREGADOS NATURALES POR RECICLADOS Y CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS	10	0	-0.61	0	0	X
		US.	2	MATERIALES DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA, BAJA HUELLA HÍDRICA Y CARBONO		0	0		0	X
		US.	3	FUNCIONES AUTONÓMICAS PARA PURIFICACIÓN DEL AIRE, AUTOLIMPIEZA, AUTOREPARACIÓN		3	58.73		2	
		US.	4	PINTURAS CON BAJO CONTENIDO DE VOC'S		2	1.04		2	
		US.	5	MINIMIZAR SUPERFICIES IMPERMEABLES EN EDIFICACIÓN Y CONTEXTO		2	1.96		2	
		US.	6	MINIMIZAR SUPERFICIES ABSORBENTES DE RADIACIÓN SOLAR		2	2.66		2	
		US.	7	SOMBREAR SUPERFICIES ABSORBENTES DE RADICACIÓN SOLAR		2	2.66		2	
	9. CONSTRUCCIÓN	US.	1	ENTRENAMIENTO OPERARIOS MANEJO EFICIENTE DE MAQUINARIA	4	0	0	4	0	X
		US.	2	CONTROL DE EMISIONES EN TUBOS DE ESCAPE DE LOS EQUIPOS		0	0		0	X
		US.	3	RENOVACIÓN DE MOTORES DE MAQUINARIA Y VEHÍCULOS UTILIZADOS		0	0		0	X
		US.	4	EMPLEO DE BIODISEL O COMBUSTIBLES DE BAJO ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN		1	0.1507		1	X
		US.	5	LIMPIEZA DE VEHÍCULOS A LA SALIDA DE OBRA		0	0		0	X
	10. ACCIONES PARA LA CONSERVACIÓN	US.	1	AFECTACIONES AMBIENTALES	8	0	0	8	0	X
		US.	2	CONCEPTO AMBIENTAL DE OBRA		0	0		0	X
		US.	3	PLAN DE MANEJO DE FAUNA SILVESTRE		0	0		0	X
		US.	4	AUMENTAR SERVICIOS ECOSISTEMICOS EN EL PLAN DE COBERTURAS VEGETALES (SILVICULTURA)		0	0		0	X
SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE	1. EN LA CALLE	DU	1	BORDILLOS DE CUNETAS Y ANDENES	12	0	0	12	0	X
		DU	2	ALCORQUES - CONTENEDORES DE ARBOLES		0	0		0	X
		DU	3	SEPARADORES CON ZANJAS FILTRANTES O CANALES VEGETADOS		0	0		0	X
		DU	4	ANDENES CON PAVIMENTO PERMEABLE Y/O FRANJAS FILTRANTES		1	0.07		1	X
		DU	5	CALLES ESTRECHAS Y/O APROVECHAMIENTO BAHÍAS*		0	0		0	X
		DU	6	CALLES COMPARTIDAS*		0	0		0	X
		DU	7	ECO BOULEVARES*		0	0		0	X
	2. ESPACIO ABIERTO	DU	1	ÁREAS DE CONSERVACIÓN - BOSQUES URBANOS	10	0	0	10	0	X
		DU	2	PARQUES DE TRATAMIENTO - HUMEDALES ARTIFICIALES		0	0		0	X
		DU	3	ESTANQUES DE DETENCIÓN MULTIFUNCIONALES		0	0		0	X
		DU	4	CONECTAR ESPACIOS VERDES - CORREDORES		0	0		0	X
PUNTUACION TOTAL					115	PUNTUACION ESTRATEGIA		70		

GRADO

SISTEMAS A IMPLEMENTAR					PUNTUACION	IMPACTO	% DE ESTRATEGIA	ESTRATEGIA URBANA	IMPACTO ECONOMICO	
CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR	1.ORIENTACIÓN Y FORMA	CE.	1	ORIENTACIÓN Y FORMA DEL EDIFICIO	4	0	0	4	0	X
	2. PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS	CE.	1	PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS ORIENTADOS ESTE Y OESTE	5	2	3.02	0	2	
		CE.	2	PROTECCIÓN SOLAR EN VANOS ORIENTADOS NORTE Y SUR		2	3.02		2	
	3. APERTURAS Y VANOS	CE.	1	RELACIÓN VENTANA-PARED ENTRE 30% Y 40%	8	1	0.92	8	1	X
		CE.	2	GEOMETRÍA DE VENTANAS TIPO CINTA		0	0		0	X
		CE.	3	VENTILACIÓN CRUZADA MEDIANTE VENTANAS OPERABLES EN CARAS OPUESTAS O ADYACENTES DE LOS ESPACIOS		3	4.86		2	
	4. CARACTERISTICAS DE LA ENVOLVENTE	CE.	1	ENVOLVENTE VERTICAL CON UN VALOR U DE 1.21 W/m2°K O INFERIOR	6	2	2.08	0	2	
		CE.	2	ENVOLVENTE VERTICAL DE COLORES CLAROS CON UN VALOR DE REFLECTIVIDAD IGUAL O SUPERIOR AL 0.6		0	0		0	X
		CE.	3	CUBIERTA CON VALOR U IGUAL O INFERIOR A 0.5 W/m2°K.		2	1.46		2	
	5.CONFORT LUMÍNICO EN EDIFICACIONES	CE.	1	CONTROL DEL DESLUMBRAMIENTO	10	0	0	10	0	X
		CE.	2	COEFICIENTE DE LUZ DIURNA ADECUADO CON LA ACTIVIDAD A DESEMPEÑAR EN EL ESPACIO		0	0		0	X
		CE.	3	UNIFORMIDAD LUMÍNICA		0	0		0	X
		CE.	4	ACABADO DE LOS INTERIORES CON UNA REFLECTIVIDAD IGUAL O INFERIOR A 0.6		0	0		0	X
		CE.	5	PROFUNDIDAD, ALTURA Y VENTANA EN LA EDIFICACIÓN		0	0		0	X
MATERIALES SUSTENTABLES	1. APROVECHAMIENTO RCD Y SIMBIOSIS	MS.	1	INFRAESTRUCTURA CON MATERIALES CON REEMPLAZO DEL 30% DE AGREGADOS NATURALES Y CEMENTANTES ALTERNATIVOS	3	0	-0.61	3	-0.61	X
	2. PROCESOS LIMPIOS E INNOVACIÓN	MS.	1	INFRAESTRUCTURA CON MATERIALES DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA, Y BAJAS HUELLAS HÍDRICA Y DE CARBONO	3	0	0	3	0	X
		MS.	2	INFRAESTRUCTURA CON FUNCIONES AUTONÓMICAS PARA PURIFICACIÓN DEL AIRE, AUTOLIMPIEZA, AUTO REPARACIÓN		3	58.63		2	
	3. RECUBRIMIENTOS	MS.	1	PINTURAS CON BAJO CONTENIDO DE VOC'S	1	2	1.04	0	2	
	4.COORDINACIÓN DISEÑOS Y PROCESOS	MS.	1	COORDINACIÓN EN EL DISEÑO PARA REDUCIR RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN	3	0	0	3	0	X
		MS.	2	OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS MEDIANTE PRODUCCIÓN INDUSTRIALIZADA		0	0		0	X
		MS.	3	SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE PERMITAN ADAPATACIÓN Y CAMBIO DE USO EN EL TIEMPO DE MANERA SENCILLA		0	0		0	X
	5. DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTOS Y MATERIAS PRIMAS	MS.	1	USO EXCLUSIVO DE MADERAS JÓVENES CULTIVADAS (SE RECOMIENDA INCLUIR CON FUENTE DE MATERIAS PRIMAS)	3	0	0	3	0	X
		MS.	2	USO DE MATERIAS PRIMAS EXTRAÍDAS DE LA FUENTE DE FORMA RESPONSABLE		0	0		0	X
		MS.	3	USO DE MATERIALES CON CERTIFICACIÓN DE BAJA ENERGÍA EMBEBIDA Y BAJAS HUELLAS HÍDRICA Y CARBONO		0	0		0	X

VERIFICADO

EFICIENCIA Y AHORRO DE AGUA	1. EQUIPOS SANITARIOS EFICIENTES	AA.	1	UNIDADES PRIVADAS (VIVIENDA, HABITACIÓN HOTEL, LOCAL, OFICINA, ETC.)	4	0	0	4	0	X
		AA.	2	APARATOS SANITARIOS EN AREAS COMUNES		0	0		0	X
		AA.	3	ASEO Y MANTENIMIENTO DE AREAS COMUNES		0	0		0	X
	2. JARDINERIA Y PAISAJISMO EFICIENTE EN AGUA	AA.	1	SISTEMA DE RIEGO EFICIENTE (POR MICRO ASPERSIÓN O POR GOTEO)	7	0	0	7	0	X
		AA.	2	SELECCIÓN DE ESPECIES NATIVAS DE BAJA DEMANDA DE AGUA		0	0		0	X
		AA.	3	RETENCIÓN DE HUMEDAD POR MANTOS ORGÁNICOS		0	0		0	X
		AA.	4	AGRUPACIÓN DE PLANTAS POR NECESIDADES DE AGUA		0	0		0	X
	3. REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS	AA.	1	DURANTE LA OBRA (PARA USO EN INODOROS DEL CAMPAMENTO O ASEO Y LIMPIEZA EN OBRA)	9	0	0	9	0	X
		AA.	2	PARA USO EN AREAS PRIVADAS (EN INODOROS Y/O LAVADORAS)		1	0.61		1	X
		AA.	3	PARA RIEGO EN AREAS COMUNES		1	0.55		1	X
		AA.	4	PARA USO ZONAS COMUNES (PARA ASEO Y LAVADO Y/O EN INODOROS)		1	0.37		1	X
		AA.	5	PARA RED DE SISTEMA CONTRAINCENDIOS		0	0		0	X
	4. REDUCCION DEL IMPACTO DE LAS AGUAS SERVIDAS	AA.	1	REDUCCION AGUAS GRISES (REUTILIZACION RIEGO Y USO NO POTABLE Y/O TRATAMIENTO PRE-VERTIMIENTO)	1	3	15.96	0	2	
EFICIENCIA Y AHORRO DE ENERGÍA	1. MEDICIÓN Y MONITOREO	EE.	1	MEDICIÓN CALIBRADA EN 4 CUADRANTES	5	1	0.03	5	1	X
		EE.	2	MEDICIÓN POR SECTORES Y CENTROS DE CONSUMO		1	0.03		1	X
		EE.	3	MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL - EVALUACIÓN DE MATRIZ HORARIA		1	0.03		1	X
	2. EQUIPOS EFICIENTES	EE.	1	EQUIPOS CON ETIQUETA Y CALIFICACIÓN A DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	3	0	0	3	0	
		EE.	2	CORRECTOR DE FACTOR DE POTENCIA		1	0.06		1	X
	3. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL	EE.	1	CONTROLES DE OCUPACIÓN	4	1	0.14	4	1	X
		EE.	2	CONTROLES DE ILUMINACIÓN EXTERIOR		1	0.78		1	X
		EE.	3	VARIADORES DE FRECUENCIA		1	0.06		1	X
	4. CARGADORES DE V.E.	EE.	1	PUNTOS DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELECTRICOS	2	1	0.19	2	1	X
	5. CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA	EE.	1	SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA SOLAR	2	2	2.78	0	2	
	6. GENERACIÓN ELECTRICA PARA AUTOCONSUMO	EE.	1	CUBIERTAS CON SOPORTE DE CARGA ESTRUCTURAL DE 15 KG/M2	4	0	0	0	0	X
		EE.	2	SISTEMAS FV DE CONEXIÓN A RED CON GENERACIÓN MAYOR O IGUAL AL 10% DEL CONSUMO DE LA EDIFICACIÓN		3	3.32		2	
		EE.	3	SISTEMAS DE ENERGÍA CON CONEXIÓN A RED Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA - SISTEMA HIBRIDO		3	3.32		2	
MATERAS AUTONOMAS	1. MATERAS	CV.	1	CON HERBÁCEAS PERENNES	1	0	0	1	0	X
		CV.	2	CON ARBORIZACIÓN		0	0		0	X
CUBIERTAS TRANSITABLES	2. CUBIERTAS TRANSITABLES	CV.	1	EN ADOQUIN PEATONAL	3	2	1.28	0	2	
		CV.	2	EN ADOQUIN VEHICULAR		2	2.23		2	
CUBIERTAS VEGETADAS	3. CUBIERTAS VEGETADAS SEGÚN SU TIPO	CV.	1	EXTENSIVAS INCLINADAS	4	2	2.06	0	2	
		CV.	2	EXTENSIVAS PLANAS: LAMINARES SIN RIEGO - SEDUM; LAMINARES CON RIEGO - COBERTURAS BAJO IMPACTO		2	2.31		2	
		CV.	3	INTENSIVAS LAMINARES: CON COBERTURA Y HERBACEAS PERENNES; CON HERBACEAS Y ARBUSTOS PERENNES; CON ARBORIZACIÓN		2	2.31		2	
	4. CUBIERTAS VEGETDAS SEGÚN SU GRAN APORTE AMBIENTAL	CV.	1	REGULADORA DE AGUAS LLUVIAS	12	2	1.96	0	2	
		CV.	2	REGULADORA DE CLIMA URBANO		2	1.14		2	
		CV.	3	PARA ENERGÍA SOLAR		1	0.64		1	X
		CV.	4	BIODIVERSA		2	1.5		2	
		CV.	5	PARA AGRICULTURA URBANA		2	1.14		2	
JARDINES VERTICALES	5. JARDINES VERTICALES	CV.	1	CON ENREDADERAS: SOBRE MUROS; SOBRE REJAS Y ESTRUCTURAS METÁLICAS; SOBRE GUAYAS Y MALLAS	8	2	2.8	0	2	
		CV.	2	EN CONTENEDORES: CON MATERAS INDIVIDUALES, O MÓDULOS DE PLÁSTICO O METAL		0	0		0	X
		CV.	3	HIDROPONICOS CON TUBOS		3	4.84		2	
		CV.	4	HIDROPONICOS CON MANTAS Y TEXTILES		3	4.84		2	
		CV.	5	CON SUSTRATO: EN MÓDULOS FLEXIBLES O RIGIDOS		2	2.66		2	
		CV.	6	DE GRAN APORTE AMBIENTAL: PROTECTOR DE FAUNA SILVESTRE, BIOFILTRANTE O PARA AGRICULTURA URBANA		3	3.34		2	
SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE	1. EN EL EDIFICIO Y/O LA PROPIEDAD	DU	1	MATERIALES DE CUBIERTA*	3	1	0.64	3	1	X
		DU	2	ÁREAS COMUNES - DISEÑO URBANÍSTICO ORIENTADO AL AGUA		0	0		0	X
	2. REDUCCION DE LA ESCORRENTÍA	DU	1	DESCONEXIÓN DE ZONAS IMPERMEABLES	2	0	0	2	0	X
		DU	2	TANQUES EN MUROS, EXTERIORES Y SÓTANOS		1	0.92		1	X
	3. AUMENTO DE LA FILTRACIÓN DEL TERRENO	DU	1	ZANJAS FILTRANTES	5	0	0	5	0	X
		DU	2	JARDINES DE BIORETENCIÓN		0	0		0	X
		DU	3	ESTACIONAMIENTOS FILTRANTES		1	0.51		1	X
				PUNTUACION TOTAL	125	PUNTUACION ESTRATEGIA		79		

Tabla 127. Análisis de implementación de estrategia urbana vs. Impacto general y económico.
Fuente: *elaboración propia, 2021.*

VERSIÓN BORRADOR

Referencias

Capítulo 1

Alchapar, N., & Correa, E. (n.d.). Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas. Informes de la Construcción, 67(540). http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.131.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers [ASHRAE]. (2004). Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE.

Carlucci, S., Bai, L., de Dear, R., & Yang, L. (2018). Review of adaptive thermal comfort models in built environmental regulatory documents. Building and Environment(137), 137, 73–89. doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.053.

Comisión Internacional de Iluminación [CIE]. (2003). Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations.

Comisión Internacional para la Iluminación [CIE]. (2002). Iluminación de puestos de trabajo en interiores ISO 8995.

de Dear, R. J., & Brager, G. S. (1998). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE Transactions(104), 145–167.

Fanger, P. (1972). Thermal Confort. Nueva York: Mc Graw Hill.

Forgiarini Rup, R., Giraldo Vásquez, N., & Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. Energy and Buildings, 105, 178–205. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047.

Givoni, B. (1969). Man, Climate and Architecture. New York: Elsevier Publishing Company Limited.

Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings, 18, 11–23. doi:https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K.

Global Cool Cities Alliance. (2012). Practical Guide to Cool Roofs and Cool Pavements. Retrieved 02 03, 2021, from https://www.c40knowledgehub.org/.

International Organization for Standardization. (2005). Ergonomía del Ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmicomediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.

Marsh, A. (30 de Octubre de 2018). AndrewMarsh.com. Recuperado el 22 de 01 de 2021, de http://andrewmarsh.com/software/psychro-chart-web/.

Ministerio de Minas y Energía. (2019). Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Publico. Obtenido de https://www.minminas.gov.co/retilap.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). Resolución 0549. Parámetros y lineamientos de construcción sostenible – Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones. Bogotá, Colombia.

Olgyay, V. (1963.). Arquitectura y Clima: Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas. Gustavo Gili.

Ormandy, D., & Ezratty, V. (2012). Health andthermalcomfort:FromWHOguidancetohousingstrategies. 116–121. doi:doi:10.1016/j.enpol.2011.09.003.

Valladares-Rendón, L. G.-L. (2017). Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of facade shading systems. Energy and Buildings, 140, 458–479.

VERSIÓN BORRADOR

Capítulo 2

Alcaldía de Santiago de Cali, Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos Municipales- UAESPM (2017). Esquema de Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición RCD para la ciudad de Santiago de Cali.

Alcaldía de Santiago de Cali. (2018). Organismos responsables de Gestión de Residuos rindieron cuentas a la comunidad. https://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/141393/organismos-responsables-del-plan-de-gestion-integral-de-residuos-solidos-rindieron-cuentas-a-la-comunidad/.

Alcaldía de Santiago de Cali, (2019). Alcaldía garantiza mejores condiciones ambientales para los caleños. https://www.cali.gov.co/serviciospublicos/publicaciones/148142/alcaldia-garantiza-mejores-condiciones-ambientales-para-los-calenos/.

Askeland, D. R. (1999). Ciencia e Ingeniería de los materiales. International Thomson Editores.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Seccional Occidente. – ACODAL. (2017). Caracterización exhaustiva de los Residuos de construcción y Demolición (RCD) que ingresan a la Estación de Transferencia de la Carrera 50 de la ciudad de Cali e identificación de su potencial de transformación en eco- productos para la construcción.

Bravo Germán, A. M., & Bravo Gómez, I. D. (2018). Evaluación de las Propiedades Mecánicas de Concreto Fabricado con Agregados Reciclados Provenientes de Adoquines. Pontificia Universidad Javeriana Cali. http://vitela.javerianacali.edu.co/.

Bravo-German, A. M., Bravo-Gómez, I. D., Mesa, J. A., & Maury-Ramírez, A. (2021). Mechanical Properties of Concrete Using Recycled Aggregates Obtained from Old Paving Stones. Sustainability, 13(6), 3044. https://doi.org/10.3390/su13063044.

Cámara Colombiana de la Construcción – (CAMACOL.) (2018). Foro Sectorial Construyendo Colombia – Panel de Candidatos a la Presidencia de la República 2018- 2022.

Castro-Hoyos, A. M., Rojas Manzano, M. A., & Maury-Ramírez, A. (2022). Challenges and Opportunities of Using Titanium Dioxide Photocatalysis on Cement-Based Materials. Coatings, 12(7), 968. https://doi.org/10.3390/coatings12070968.

Chapman, L. (2007). Transport and climate change: a review. Journal of Transport Geography, 15(5), 354—367. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.008.

Conke, L.S. & Ferreira, T.L. (2015). Urban metabolism: Measuring the city's contribution to sustainable development. Environmental Pollution, 202, 146. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.03.027.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística, – DANE. (2020). Primer Reporte de Economía Circular.https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/economia-circular.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (agosto). Primer Reporte de Economía Circular. DANE. https://doi.org/10.3390/coatings10080728.

Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM), Alcaldía de Santiago de Cali. (2014). Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cali (POT). Documento técnico de Soporte: Revisión ordinaria.

Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM), Alcaldía de Santiago de Cali, Subdirección POT y Servicios Públicos. (2015). Plan de Gestión Integral de residuos Sólidos de Santiago de Cali. PGIRS 2015-2027.

Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM), Alcaldía de Santiago de Cali. (2018). Informe de Seguimiento y Evaluación del Plan de Gestión Integral de residuos Sólidos de Santiago de Cali. PGIRS 2015-2027.

Diosa Arenas, J. S. (2020). Análisis Experimental de las Propiedades Mecánicas del Concreto de Alta Resistencia Fabricado con Agregados Reciclados de Concreto. Pontificia Universidad Javeriana Cali. http://vitela.javerianacali.edu.co/.

El País. Residuos de construcción dispuestos inadecuadamente en el río Cauca. Fotografía publicada en Septiembre 13, 2014.

VERSIÓN BORRADOR

El Tiempo (2018) Estación de Transferencia EDT carrera 50 en Santiago de Cali. Problemáticas asociadas a la disposición inadecuada de los RCD, Fotografía publicada en Febrero 6, 2018.
El Tiempo (2018). Extracción de roca en el Río Pance. Fotografía publicada en septiembre 7, 2018.
Environmental Protection Agency – EPA & National Institute of Standards and Technology – NIST. (2010). Building for Environmental and Economic Sustainability (Versión 1). https://ws680.nist.gov/BEES/(A(GuCvkIQj1wEkAAAAN2MyYTg0YmUtNTEyYi00MzVhLWJkNjgtYzgwOThmODM2ZmU32nS8eQ9qI8EbZ-p8iHa-LXWwInE1))/Default.aspx.
European Committee For Standarization – CEN. (2002). EN 12620:2002 Aggregates for Concrete. iTeh Standards Store. https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/1069cdce-28c1-437f-9528-89f79e684dfc/en-12620-2002.
Gobernación del Valle del Cauca y Departamento Administrativo de Planeación. (2013). Evolución, impacto y retos del sector minero: Un análisis para el Valle del Cauca.
Gutiérrez, L.F. (2021, 10 de diciembre) La economía Circular y su Papel en el Cambio Climático. Available online: https://www.elespectador.com/actualidad/la-economia-circular-y-su-papel-en-el-cambio-climatico/
Hurtado Portocarrero, I. A. (2019). Evaluación del Efecto del Reemplazo Parcial del Cemento Portland por Ceniza de la Industria del Papel en Morteros y Muretes. Pontificia Universidad Javeriana Cali. http://vitela.javerianacali.edu.co/.
Knauf GmbH España. (2013, 1 junio). Reciclaje y cierre del ciclo de vida de las placas de yeso laminado. Anales Sectoriales – Reciclaje y Gestión de Residuos. https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/109556-Reciclaje-y-cierre-del-ciclo-de-vida-de-las-placas-de-yeso-laminado.html.
Londoño Alarcón, J. A. (2016, julio). Comportamiento Mecánico de Elementos Prefabricados de Concreto con Agregados Reciclados Dentro de la Fuente que los Genera. Pontificia Universidad Javeriana Cali. http://vitela.javerianacali.edu.co/.
Medina Medina, A. F., Torres Rojas, D. F., Meza Girón, G., & Villota Grisales, R. A. (2016, mayo). Diseño de un Sistema para Generar Purificación del Aire y Auto-limpieza en las Superficies del Túnel de la Avenida Colombia (Cali). Pontificia Universidad Javeriana Cali. http://vitela.javerianacali.edu.co/.
Mesa, J. A., Fúquene-Retamoso, C., & Maury-Ramírez, A. (2021). Life Cycle Assessment on Construction and Demolition Waste: A Systematic Literature Review. Sustainability, 13(14), 7676. https://doi.org/10.3390/su13147676.
Maury Ramírez A. (2011). Cementitious Materials with Air-Purifying and Self-Cleaning Properties Using Titanium Dioxide Photocatalysis. Ghent University (Bélgica). https://biblio.ugent.be/publication/2020062.
Miller, K., Mc Adam, R., Moffet, S., Alexander, A., & Pushyarag, P. (2016). Knowledge transfer in university quadruple helix ecosystems: an absortive capacity perspective. R&D Management, 383—399. https://doi.org/10.1111/radm.12182.
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017, 28 febrero). Resolución 0472 del 28 de Febrero de 2017. Minambiente. https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/3a-RESOLUCION-472-DE-2017.pdf.
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Comercio Industria y Turismo, & Presidencia de la República. (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular: Cierre de Ciclos de Materiales, Innovación Tecnológica, Colaboración y Nuevos Modelos de Negocio (1.a ed., Vol. 1) [Libro electrónico].
Mininisterio de Ambiente. https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/Comite%20Sostenibilidad/Presentaciones/Sesi%C3%B3n%202/1_Metas_Estrategia_Nacional_Economia_circular.pdf.
Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015, 10 julio). Resolución 0549 del 10 de Julio de 2015. Ingeniería Sostenible. http://ismd.com.co/wp-content/uploads/2017/03/Resoluci%C3%B3n-549-de-2015.pdf.

VERSIÓN BORRADOR

Muñoz Muñoz, H. A. (2015). Construcción, Interventoría y Supervisión Técnica de las Edificaciones de Concreto Estructural según el Reglamento Colombiano NSR-10 (1.a ed., Vol. 1). Asociación Colombiana de Productores de Concreto - ASOCRETO. http://www.asocretovirtual.com/tienda-virtual/index.php?route=product/category&path=61&limit=100.

Naranjo Mejía, A. (2017, febrero). Evaluación de cubiertas verdes semi-intensivas con capas de drenaje elaboradas con materiales reciclados y reutilizados. Pontificia Universidad Javeriana Cali. http://vitela.javerianacali.edu.co/.

Osmani, M. (2011). Construction Waste. En T. M. Letcher & D. A. Vallero (Eds.), Waste (pp. 207—218). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10015-4.

Pachecho Torgal, F., & Jalali, S. (2011). Eco-efficient Construction and Building Materials (1a Edición). Springer-Verlag London.

Pacheco Torgal, F., Jalali, S., Labrincha, J., & John, V. M. (2013). Eco-efficient Concrete (1a Edición). Woodhead Publishing.

Personería de Santiago de Cali. (septiembre, 2019). Estudiantes se sensibilizaron con las problemáticas ambientales: Contaminación, destrucción biodiversidad. Fotografías. Disponible en: http://respaldo.personeriacali.gov.co/estudiantes-universitarios-se-sensibilizaron-con-las-principales-problematicas-ambientales-del-0.

Pinto Campos, B. C. (2019, febrero). Arquitectura y Diseño Flexible: una revisión para una construcción más sostenible. Universidad Politécnica de Cataluña - UPC. https://upcommons.upc.edu/handle/2117/176433.

Portland Cement Association (PCA). Concrete Sustainability Hub. Recuperado 17 de enero de 2020, de https://www.cement.org/learn/mit.

Pontificia Universidad Javeriana - Alcaldía de Santiago de Cali, Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente DAGMA, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC. (Ddiciembre, 2013). Convenio 018 de 2013 1764 Escombros: Evaluación técnica, ambiental, jurídico, socio económica de sitios para la operación de dos operaciones de transferencia y/o acopio de escombros y elaborar los diseños para el montaje y puesta en funcionamiento de dichas estaciones en la ciudad de Cali.

Robayo Salazar, R. A., Mattey Centeno, P. E., Silva Urrego, Y. F., Burgos Galindo, D. M., & Delvasto Arjona, S. (2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. Revista Tecnura, 19(44), 157-170 doi:http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a12.

Sánchez De Guzmán, D. (2011). Colección del Concreto - Durabilidad y Patología de Concreto (2a Edición). ASOCRETO.

US Geological Survey - (USGS). (enero, 2020). Minneral commodities summaries 2020.

Van Tittelboom, K., & De Belie, N. (2013). Self-Healing in Cementitious Materials—A Review. Materials, 6(6), 2182—2217. https://doi.org/10.3390/ma6062182.

Voukkali I. & Zorpas A.A. (2022). Evaluation of urban metabolism assessment methods through SWOT analysis and analytical hierocracy process. Science of The Total Environment, 807(1), 150700. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150700.

World Green Building Council - (WorldGBC),. (2008). Construction and WorldGBC to Collect Global Green Trends Data to Advance the Sharing of Green Information and Intelligence. McGraw- Hill. New York.

VERSIÓN BORRADOR

Capítulo 3

Alcaldía de Santiago de Cali. (2016). Evaluación De La Huella De Carbono y Huella Hídrica.

Costello, L. R., Matheny, N. P., Clark, J. R., & Jones, K. S. (2000). A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California. The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III. University of California Cooperative Extension. California Department of Water Resource. University of California, Department of Water Resourcexs, 150. Retrieved from http://www.water.ca.gov/wateruseef?ciency/docs/wucols00.pdf.

DAGMA – Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente. (2019a). Guía de buenas prácticas ambientales para el sector de la construcción en el área urbana de Santiago de Cali. Santiago de Cali.

DAGMA – Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente. Resolución 4133.010.21.0.1525 de 2019, Por la cual se adopta el documento técnico "Medidas de manejo ambiental para la conservación del acuífero y administración del recurso hídrico subterráneo 2019-2031." (2019).

DAGMA – Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente. Plan de Silvicultura de Santiago de Cali. (2020).

ICONTEC / Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. NTC 1500 Código Colombiano de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias.(2017).

IDEAM – Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). Estudio Nacional del Agua 2014. Retrieved from http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf.

IDEAM – Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Retrieved from http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023858/ENA_2018.pdf.

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. , (2010).

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio / Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. Resolución 0330 de 2017 "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico — RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009." (2017).

Sastoque, L. M., & Ovalle, A. (2019). Estudio bases técnicas de eficiencia energética y en el consumo de agua del Manual de Construcción Sostenible para la ciudad de Cali parte 1 : estudio de brecha V2.

UN – Naciones Unidas. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) UN. Retrieved from http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html.

VERSIÓN BORRADOR

Capítulo 4

Asociación Colombiana de Aire y de la Refrigeración ACAIRE, 2017, Reglamento Técnico de las Instalaciones Técnicas en Edificaciones 2017, Colombia.

Ángel Bayod Rujula, Energía solar, Universidad de Zaragoza, España.

BTICINO, 2012, Control de Iluminación, Mexico.

Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, 2017, Autogeneración a Pequeña Escala y Generación Distribuida, Documento CREG — 066, Colombia.

Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, 2018, Resolución No. 030 de 2018, Colombia.

Ministerio de Minas y Energía, Corrección del Factor de Potencia y control de la demanda, Colombia.

TREND, Sistemas de control como herramientas de eficiencia energética, México.

Ministerio de Minas y Energía, 2016, Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017 — 2022, Una realidad y oportunidad para Colombia.

REN 21, 2020, Renewable 2020 Global Status, Paris, Francia.

Unidad de Planeación Minero Energético UPME, 2018, Guía para la formulación e implementación de planes de gestión eficiente de la energía en entidades públicas, PGEE — EP.

Capítulo 5

Alcaldia de Santiago de Cali. (2020). Plan Integral de Gestión del Cambio Climático de Santiago de Cali. 1—115.

Centro de formación | PRO-MIX. (s. f.). Recuperado 12 de julio de 2022, de https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/.

Chile, N. (2020). NCh.

Contreras, E., Castillo, I., & Àrea d'Ecologia, U. i M. (2015). Guía de azoteas vivas y cubiertas verdes. https://bcnroc.ajuntament.barcelona.cat/jspui/handle/11703/98793.

Contreras R. (2016). Metodología y procedimientos para construir una red ecológica urbano-rural del municipio adaptando metodologías como la métrica del paisaje y de acuerdo con la propuesta de áreas núcleos y complementarias del SIMAP, que aumente cualitativa y cuantit (Convenio 027 de 2016).

CTE WEB. (s. f.). Recuperado 22 de febrero de 2021, de http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=1.

Cubierta verde 4.0 | Sistemas para cubiertas verdes | ZinCo Green Roof. (s. f.). Recuperado 11 de julio de 2022, de https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/node/270.

Di, H. F., & Wang, D. (1999). Cooling effect of ivy on a wall. Experimental Heat Transfer, 12(3), 235—245. https://doi.org/10.1080/089161599269708.

Dosmundos — Productos vivos. (s. f.). Recuperado 10 de junio de 2021, de http://dosmundos.org/.

Extensive Green Roof Sedum Carpet | ZinCo Green Roof Systems. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2021, de https://zinco-greenroof.com/systems/sedum-carpet.

VERSIÓN BORRADOR

FLL. (2008). Guidelines for the Planning , Construction and Maintenance of Green Roofing – Green Roofing Guideline. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 119.
Grant, G., & Gedge, D. (2019). Living Roofs and Walls from policy to practice. www.livingroofs.org%0Awww.efb-greenroof.eu%0Awww.london.gov.uk.
Green Roof & Solar System | ZinCo Canada. (s. f.). Recuperado 10 de junio de 2021, de https://www.zinco.ca/green-roof-systems/green-roof-and-solar.

Green Roofs for Healthy Cities. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2021, de https://greenroofs.org/.
greenscreen® – an innovative and unique modular trellising system. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2021, de https://greenscreen.com/.
High Line Park, New York City | ZinCo Green Roof Systems. (s. f.). Recuperado 10 de junio de 2021, de https://zinco-greenroof.com/references/high-line-park-new-york-city.
Hoelscher, M. T., Nehls, T., Jänicke, B., & Wessolek, G. (2016). Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. Energy and Buildings, 114, 283—290. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.047.
Intensive Green Roof Heather with Lavender | ZinCo Green Roof Systems. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2021, de https://zinco-greenroof.com/systems/heather-with-lavender.
Irrigated Extensive Green Roof | ZinCo Green Roof Systems. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2021, de https://zinco-greenroof.com/systems/irrigated-extensive-green-roof.

Jakob Rope Systems: Jakob Rope Systems. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2021, de https://www.jakob.com/ch/en.
Kontoleon, K. J., & Eumorfopoulou, E. A. (2010). The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. Building and Environment, 45(5), 1287—1303. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.11.013.
Krusche, P., Althaus, D., Gabriel, I., Weig-Krusche, M., Krusche, P., Althaus, D., Gabriel, I., & Weig-Krusche, M. (1982). Ökologie in der Architektur. En Ökologisches Bauen (pp. 19—29). Vieweg+Teubner Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-322-84893-2_3.
Le Cordon Bleu, Paris | ZinCo Green Roof Systems. (s. f.). Recuperado 10 de junio de 2021, de https://zinco-greenroof.com/references/le-cordon-bleu-paris.
Living Wall & Green Roof Design Specialists | ANS Global. (s. f.). Recuperado 11 de julio de 2022, de https://www.ansgroupglobal.com/.
López, A. E. D., Ramírez, C. A. G., García, F. P., Ibarra, J. R. V., & Sandoval, O. A. (2011). Fitorremediación: Una Alternativa para Eliminar la Contaminación. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14(2), pg. 597-612.
Mann, P., Gahagan, L., & Gordon, M. B. (2005). Tectonic setting of the world's giant oil and gas fields. AAPG Memoir, 78, 15—105. https://doi.org/10.1306/m78834c2.
Martínez Ataz, E., & Díaz de Mera Morales, Y. (2004). Contaminación atmosférica (E. de la U. de C.-L. M. Universidad de Castilla-La Mancha (Ed.)).
Naava | Not a normal green wall. (s. f.). Recuperado 10 de junio de 2021, de https://www.naava.io/en/.
Naranjo, A., Colonia, A., Mesa, J., & Maury-Ramírez, A. (2020). Evaluation of Semi-Intensive Green Roofs with Drainage Layers Made Out of Recycled and Reused Materials. Coatings, 10(6). https://doi.org/10.3390/coatings10060525.
National Campus for the Archaeology of Israel, Jerusalem | ZinCo Green Roof Systems. (s. f.). Recuperado 10 de junio de 2021, de https://zinco-greenroof.com/references/national-campus-archaeology-israel-jerusalem.

VERSIÓN BORRADOR

Olivieri, F. (2013). Caracterización experimental y modelo predictivo del comportamiento térmico de una fachada vegetal.
Peng, L. L. H., Jiang, Z., Yang, X., Wang, Q., He, Y., & Chen, S. S. (2020). Energy savings of block-scale facade greening for different urban forms. Applied Energy, 279, 115844. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115844.
Pereira Fernández, J. (2016). Fachadas vegetales: análisis del impacto medioambiental y aplicaciones.
¿Qué son las soluciones basadas en la naturaleza y por qué son importantes? - Sostenibilidad. (s. f.). Recuperado 11 de julio de 2022, de https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/que-son-las-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-y-por-que-son-importantes/.
Rodenburg, C., Baycan-Levent, T., van Leeuwen, E., & Nijkamp, P. (2001). Urban economic indicators for green development in cities. Greener Management International, 36, 105—119. https://doi.org/10.9774/gleaf.3062.2001.wi.00010.
Roof Garden | ZinCo Green Roof Systems. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2021, de https://zinco-greenroof.com/systems/roof-garden.
Susorova, I., Angulo, M., Bahrami, P., & Brent Stephens. (2013). A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. Building and Environment, 67, 1—13. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.027.
The latest press releases | ZinCo Green Roof Systems. (s. f.). Recuperado 11 de julio de 2022, de https://zinco-greenroof.com/press-releases?page=4.
Urban Climate Roof | ZinCo Green Roof Systems. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2021, de https://zinco-greenroof.com/systems/urban-climate-roof.
Walkways on Rooftops | ZinCo Green Roof Systems. (s. f.-a). Recuperado 10 de junio de 2021, de https://zinco-greenroof.com/systems/walkways.
Walkways on Rooftops | ZinCo Green Roof Systems. (s. f.-b). Recuperado 11 de junio de 2021, de https://zinco-greenroof.com/systems/walkways.
ZinCo green roof systems | ZinCo Green Roof Systems. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2021, de https://zinco-greenroof.com/green-roof-systems.
ZinCo Green Roofs | Biodiversity Roofs. (s. f.). Recuperado 12 de julio de 2022, de https://www.zinco.ca/green-roof-systems/biodiversity.

Capítulo 6

Alam, T., Mahmoud, A., Jones, K. D., Bezares-Cruz, J. C., & Guerrero, J. (2019). WinSLAMM Simulation of Hydrologic Performance of Permeable Pavements — A Case Study in the. Water, 11(1865), 1-19. https://doi.org/10.3390/w11091865.
Alcaldía Mayor de Bogotá. Decreto 528 de 2014 (2014). Bogotá D.C., Colombia: Secretaría Jurídica Distrital.
Alcaldía Mayor de Bogotá. Decreto 088 de 2017. Por medio del cual se establecen las normas para el ámbito de aplicación del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte - «Ciudad Lagos de Torca» y se dictan otras disposiciones (2017). Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/Lagos de Torca/Antecedentes/Decreto 088 de 2017.pdf.

VERSIÓN BORRADOR

Alcaldía Mayor de Bogotá. Decreto 597 de 2018, Pub. L. No. Registro Distrital No. 6424 del 30 de octubre de 2018 (2018). Bogotá, Colombia. Recuperado de https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=81203&dt=S.

Backhaus, A., Dam, T., & Jensen, M. B. (2012). Stormwater management challenges as revealed through a design experiment with professional landscape architects. Urban Water Journal, 9(1), 29–43. https://doi.org/10.1080/1573062X.2011.633613.

Beckers, D. (2010). Stormwater drain protection. Recuperado 14 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/dougbeckers/4943478218/in/photostream/.

Bentarzi, Y., Terfous, A., Ghenaim, A., Wanko, A., Hlawka, F., & Poulet, J. B. (2013). Hydrodynamic characteristics of a new permeable pavement material produced from recycled concrete and organic matter. Urban Water Journal, 10(4), 260–267. https://doi.org/10.1080/1573062X.2012.727835.

Berland, A., Shiflett, S. A., Shuster, W. D., Garmestani, A. S., Goddard, H. C., Herrmann, D. L., & Hopton, M. E. (2018). The role of trees in urban stormwater management, 1–23. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.017.The.

Bloomfield, D. (2009). Yes, it's raining. Recuperado 7 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/athomeinscottsdale/3269373922/.

Boskybiscuit. (2012). Portland Fall 2012. Recuperado 9 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/boskybiscuit/10794581086/.

Boston Water and SewerCommission, & Geosyntec Consultants. (2013). Stormwater Best Management Practices : Guidance Document. Boston, MA, USA: Boston Water and Sewer Commission.

Brown, R. A., Line, D. E., & Hunt, W. F. (2012). Case Study LID Treatment Train : Pervious Concrete with Subsurface Storage in Series with Bioretention and Care with Seasonal High Water Tables. Journal of Environmental Engineering, 138(6), 689–697. https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000506.

Brown, R. R. (2005). Impediments to integrated urban stormwater management: The need for institutional reform. Environmental Management, 36(3), 455–468. https://doi.org/10.1007/s00267-004-0217-4.

Burger, C. (2013). WinSLAMM, the Source Loading and Management Model. Recuperado de http://winslamm.com/docs/WinSLAMM Description.pdf.

Burns, M. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R., & Hatt, B. E. (2012). Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. Landscape and Urban Planning, 105(3), 230–240. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.12.012.

Center for Neighborhood Technology. (2014). Stormwater Management in Hinsdale, IL. Recuperado 8 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/centerforneighborhoodtechnology/14674879081/.

Center for Neighborhood Technology. (2015). Downer Place, Aurora, IL. Recuperado 8 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/centerforneighborhoodtechnology/21899582561/.

Center for Watershed Protection Inc. (2015). Permeable Pavers. Recuperado 8 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/131402048@N04/16399401633/.

Centro de Investigación en Territorio Ciudad y Espacio (CITCE). (2013). Modelo para la planificación del sistema de corredores ambientales urbanos del municipio de Santiago de Cali. Santiago de Cali.

Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes. (2017a). Cartilla técnica de SUDS. Bogotá D.C. https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.

Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes. (2017b). Cuenca Seca de Drenaje Extendido. Parque San Cristóbal. Bogotá D.C.

VERSIÓN BORRADOR

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), & Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2015). Portafolio de Estrategias para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Santiago de Cali. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion__al_territorio/PORTAFOLIO_ESTRATEGIAS_ADAPTACION_TULUA.pdf.

Cettner, A., Ashley, R., Viklander, M., & Nilsson, K. (2012). Stormwater management and urban planning: Lessons from 40 years of innovation. Journal of Environmental Planning and Management, 56(6), 786–801. https://doi.org/10.1080/09640568.2012.706216.

Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang, Y.-T., … Thorne, C. R. (2018). "Sponge City" in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. Land Use Policy, 76, 772–778. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005.

Charlesworth, S. M. (2017). Sustainable Surface Water Management. John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781118897690.

Che, W., Zhao, Y., Yang, Z., Li, J., & Shi, M. (2014). Integral stormwater management master plan and design in an ecological community. Journal of Environmental Sciences, 26(9), 1818–1823. https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.06.028.

Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2000). Hidrología Aplicada. Bogotá D.C.: McGraw-Hill.

CIRIA Norfolk Country Council. (2015). The SuDS Manual. Londres.

City of Philadelphia. (2014). Green Street design manual Philadelphia. (Philadelphia Streets Department, Pennsylvania Department of Transportation (PennDOT), Philadelphia City Planning Commission, & Philadelphia Parks & Recreation, Eds.). Philadelphia, PA, USA.

City of Portland. (2016). City of Portland Stormwater Management Manual. Portland, OR, USA. Recuperado de https://www.portlandoregon.gov/bes/71127.

Clary, J., Jones, J., Leisenring, M., Hobson, P., & Strecker, E. (2020). International Stormwater BMP Database (2020 Summary Statistics). The Water Research Foundation. Wright Water Engineers, Inc. and Geosyntec Consultants. Recuperado de https://www.waterrf.org/system/files/resource/2020-11/DRPT-4968_0.pdf.

Coghlan, M. (2014). Green Plastic Rainwater Tanks. Recuperado 8 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/mikecogh/14701498073/.

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. Resolucion CRA 688 de 2014 (2014). Colombia.

Concejo Municipal de Santiago de Cali. Acuerdo 373 de 2014 Plan De Ordenamiento Territorial Del Municipio De Santiago De Cali, Departamento Administrativo de Planeación Municipal § (2014). Santiago de Cali, Colombia.

Consorcio Ecoing. (2018). Elaboración del plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica de los Ríos Lilí, Meléndez y Cañaveralejo, localizada en el departamento del Valle del Cauca en Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Santiago de Cali.

DAGMA. (2007). Identificación de la Situación Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Río Cali , Zona Urbana de Santiago de Cali. Informe ejecutivo. Ciudad de Cali. Recuperado de https://www.cali.gov.co/publico2/documentos/dagma/informeejecutivorioscaliyaguacatal.pdf.

Deely, J., Hynes, S., Barquín, J., Burgess, D., Finney, G., Silió, A., … Ballé-Béganton, J. (2020). Barrier identification framework for the implementation of blue and green infrastructures. Land Use Policy, 99(3). https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105108.

Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA). Lineamientos de regulación de descargas de aguas lluvias en cauces superficiales en el área urbana de Santiago de Cali en el marco del permiso de ocupación de cauce V.1 (2018). Santiago de Cali, Colombia.

Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA). (2019). Plan de Silvicultura de Santiago de Cali. Santiago de Cali.

VERSIÓN BORRADOR

Departamento Administrativo de Planeación Municipal. (2014). Cartografía oficial del Acuerdo 0373 del 2014 – POT. Recuperado 26 de enero de 2021, de https://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/106528/cartografia_oficial_del_acuerdo_del_pot/.

Departamento Nacional de Planeación (DNP), & Ministero de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Lineamientos para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS. Bogotá D.C. Recuperado de https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/Lineamientos-PT-SUDS-V1-261218.pdf.

Department of Transportation. (2020). Street Design Manual (Third Edit). New York, USA. Recuperado de https://www.nycstreetdesign.info/sites/default/files/2020-03/FULL-MANUAL_SDM_v3_2020.pdf.

Department of Water & Swan River Trust. (2007). Structural Controls. En Stormwater Management Manual for Western Australia. Western Australia: Department of Water Government of Western Australia.

Dhakal, K. P., & Chevalier, L. R. (2016). Urban Stormwater Governance: The Need for a Paradigm Shift. Environmental Management, 57(5), 1112–1124. https://doi.org/10.1007/s00267-016-0667-5.

DHI. (2020). MIKE+ Urban River Flooding. Recuperado 30 de diciembre de 2020, de https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mikeplus.

Drosou, N., Soetanto, R., Hermawan, F., Chmutina, K., Bosher, L., & Hatmoko, J. U. D. (2019). Key factors influencing wider adoption of blue-green infrastructure in developing cities. Water (Switzerland), 11(6). https://doi.org/10.3390/w11061234.

Dylewski, K. L., Brown, J. T. R., LeBleu, C. M., & Eve F. Brantley. (2014). Low Impact Development Handbook for the State of Alabama. Auburn, AL, USA: Alabama Department of Environmental Management.

EAAB. Criterios para el diseño y construcción de sistemas Urbanos de drenaje Sostenible(SUDS) (2018). Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de https://www.cccs.org.co/wp/download/1-ns-166-criterios-para-diseño-y-construccion-de-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-pdf/.

EAAB. Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado (2020). Bogotá D.C., Colombia.

Echols, S., & Pennypacker, E. (2008). From Storm water Management to Artful Rain water Design. Landscape Journal, 27(2), 268–290. https://doi.org/10.3368/lj.27.2.268.

Eckart, K., Mcphee, Z., & Bolisetti, T. (2017). Science of the Total Environment Performance and implementation of low impact development — A review. Science of the Total Environment, 607–608, 413–432. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.254.

El País. (2020a). Vías anegadas en el centro y norte de Cali dejan las lluvias de este sábado. Recuperado de https://www.elpais.com.co/cali/vias-anegadas-en-el-centro-y-norte-de-dejan-las-lluvias-de-este-sabado.html.

El País. (2020b). Vías inundadas y árboles caídos deja tormenta eléctrica de este viernes en Cali. Recuperado 30 de diciembre de 2020, de https://www.elpais.com.co/cali/vias-inundadas-y-arboles-caidos-deja-tormenta-electrica-de-este-viernes-en.html.

Elliott, A. H., & Trowsdale, S. A. (2007). A review of models for low impact urban stormwater drainage. Environmental Modelling and Software, 22(3), 394–405. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.12.005.

EMCALI. Norma técnica de recolección de aguas residuales y lluvias. NDI-SE-RA-007/V1.0, Pub. L. No. NDI-SE-RA-007/V1.0 (2017). Santiago de Cali, Colombia.

EMCALI. (2018a). Lineamientos generales para el control de los caudales de aguas lluvias entregados al sistema de drenaje de la ciudad de Cali. Cali.

EMCALI. (2018b). Puntos críticos de inundación histórica. Santiago de Cali.

EMCALI. (2018c). Tuberías y canales. Santiago de Cali.

VERSIÓN BORRADOR

Erickson, A. J., Weiss, P. T., & Gulliver, J. S. (2013). Optimizing Stormwater Treatment Practices. Optimizing Stormwater Treatment Practices. New York, USA: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4624-8.
eWater. (2020). MUSIC. Recuperado de https://ewater.org.au/products/music/.
Faha, L., Faha, M., & Milligan, B. (2009). Low Impact Development Approaches Handbook. Tualatin, OR, USA: Clean Water Services.
Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., … Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more — The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. Urban Water Journal, 12(7), 525–542. https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314.
Fryd, O., Jensen, M. B., Ingvertsen, S. T., Jeppesen, J., & Magid, J. (2010). Doing the first loop of planning for sustainable urban drainage system retrofits: A case study from Odense, Denmark. Urban Water Journal, 7(6), 367–378. https://doi.org/10.1080/1573062X.2010.527352.
Gao, J., Li, J., Li, Y., Xia, J., & Lv, P. (2020). A Distribution Optimization Method of Typical LID Facilities for Sponge City Construction. Ecohydrology & Hydrobiology. In press. https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.09.003.
Global Designing Cities Initiative. (2016). Gobal Street Street Design Guide. National Association of City Transportation Officials & Island Press.
Global Water Forum. (2012). Artificial wetland, Canberra, Australia. Recuperado 9 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/globalwaterforum/7928136934/.
Greater Adelaide Region. (2010). Water Sensitive Urban Design Technical Manual. Adelaida, Australia.
Green infrastructure flexible model. (2016). Recuperado 10 de diciembre de 2020, de https://gifmod.com/
Greenbelt Group ltd. (2016). Greenbelt. Case Study. Leicester, Reino Unido.
Grupo de Ingeniería e infraestructura S.A.S., & Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2020). Realizar los estudios para definir Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible — SUDS — en Santiago de Cali, Fase I, en desarrollo del proyecto 7003- apoyo a la gestión del riesgo en la zona urbana de Santiago de Cali. Santiago de Cali.
Guerrero, J., Alam, T., Mahmoud, A., Jones, K. D., & Ernest, A. (2020). Decision-Support System for LID Footprint Planning and Urban Runo ff Mitigation in the Lower Rio Grande Valley of South Texas. Sustainability, 3152(12). https://doi.org/0.3390/su12083152.
Hathaway, J. M., Hunt, W. F., & Jadlocki, S. (2009). Indicator Bacteria Removal in Storm-Water Best Management Practices in Charlotte, North Carolina. Journal of Environmental Engineering, 135(12), 1275–1285. https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000107.
Helechos S.A.S. (2017). ECOPAVIMENTO/Pisos Permeables. Recuperado 17 de diciembre de 2020, de http://ecotelhado.com.co/ecopavimento-pisos-permeables/.
Hunt, W. F., Smith, J. T., Jadlocki, S. J., Hathaway, J. M., & Eubanks, P. R. (2008). Pollutant Removal and Peak Flow Mitigation by a Bioretention Cell in Urban Charlotte , N . C . Journal of Environmental Engineering, 134(5), 403–408. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2008)134.
IDESC. (2014). Geodatabase. Acuerdo 373 de 2014 Plan De Ordenamiento Territorial Del Municipio De Santiago De Cali. Santiago de Cali: Alcaldía de Santiago de Cali.
IGEI. (2020). Realizar los estudios para definir Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible — SUDS — en Santiago de Cali , fase I, en desarrollo del proyecto 7003- apoyo a la gestión del riesgo en la zona urbana de Santiago de Cali contrato CVC no . 492 de 2019 Producto 3. Santiago de Cali.
Imteaz, M. A., Ahsan, A., Rahman, A., & Mekanik, F. (2013). Modelling stormwater treatment systems using MUSIC: Accuracy. Resources, Conservation and Recycling, 71, 15–21. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.11.007.

VERSIÓN BORRADOR

Innovyse. (2020). MicroDrainage. Recuperado 9 de diciembre de 2020, de https://www.innovyze.com/en-us/products/microdrainage.
Instituto de Desarrollo Urbano. (2020). Socializaciones Componente SUDS. Bogotá D.C.
Jayasooriya, V. M., & Ng, A. W. M. (2014). Tools for modeling of stormwater management and economics of green infrastructure practices: A review. Water, Air, and Soil Pollution, 225(8). https://doi.org/10.1007/s11270-014-2055-1.
Jia, H., Lu, Y., Yu, S. L., & Chen, Y. (2012). Planning of LID — BMPs for urban runoff control : The case of Beijing Olympic Village. Separation and Purification Technology, 84, 112-119. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.04.026.
Jia, H., Wang, X., Ti, C., Zhai, Y., Field, R., Tafuri, A. N., … Yu, S. L. (2015). Field monitoring of a LID-BMP treatment train system in China. Environmental Monitoring and Assessment, 187(6), 373. https://doi.org/10.1007/s10661-015-4595-2.
Jiménez Ariza, S. L., Martínez, J. A., Muñoz, A. F., Quijano, J. P., Rodríguez, J. P., Camacho, L. A., & Díaz-Granados, M. (2019). A multicriteria planning framework to locate and select sustainable urban drainage systems (SUDS) in consolidated urban areas. Sustainability (Switzerland), 11(8). https://doi.org/10.3390/su11082312.
Jiménez, N., Burbano, W., & Velásquez, A. (2015). Estrategias de mitigación del riesgo ante los impactos de las inundaciones de 2010 2012 en la ciudad de Cali (Colombia). En V. Marchezini, B. Wisner, L. R. Londe, & S. M. Saito (Eds.), Reduction of vulnerability to disasters: from knowledge to action.
Kaykhosravi, S., Khan, U. T., & Jadidi, A. (2018). A comprehensive review of low impact development models for research, conceptual, preliminary and detailed design applications. Water (Switzerland), 10(11). https://doi.org/10.3390/w10111541.
Keck, D. (2019). Green Roof on Howlett Hall. Recuperado 9 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/140641142@N05/33978645928/.
Keeley, M., Koburger, A., Dolowitz, D. P., Medearis, D., Nickel, D., & Shuster, W. (2013). Perspectives on the use of green infrastructure for stormwater management in Cleveland and Milwaukee. Environmental Management, 51(6), 1093-1108. https://doi.org/10.1007/s00267-013-0032-x.

Khaniya, B., Wanniarachchi, S., & Rathnayake, U. (2017). Importance of Hydrologic Simulation for Lids and BMPs Design Using HEC-HMS: A Case Demonstration. International Journal of Hydrology, 1(5), 138-146. https://doi.org/10.15406/ijh.2017.01.00027.
Kim, J. H., Kim, H. Y., & Demarie, F. (2017). Facilitators and Barriers of Applying Low Impact Development Practices in Urban Development. Water Resources Management, 31(12), 3795-3808. https://doi.org/10.1007/s11269-017-1707-5.
Korson, S. (2016). Washtenaw Road lawn. Recuperado 21 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/moonraker0/27661404671/.
Kuehler, E., Hathaway, J., & Tirpak, A. (2017). Quantifying the benefits of urban forest systems as a component of the green infrastructure stormwater treatment network. Ecohydrology, 10(3), 1-10. https://doi.org/10.1002/eco.1813.
La Citta Vita. (2010). Vastra Hamnen, rain garden. Recuperado 19 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/la-citta-vita/4749837642/in/photostream/.
La Citta Vita. (2011). Rain garden in Västra Hamnen. Recuperado 19 de noviembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/la-citta-vita/5978592298/in/photostream/.
Lashford, C., Charlesworth, S., Warwick, F., & Blackett, M. (2020). Modelling the role of SuDS management trains in minimising flood risk, using microDrainage. Water (Switzerland), 12(9), 1-13. https://doi.org/10.3390/w12092559.

VERSIÓN BORRADOR

Lee, J., Hyun, K., Choi, J., Yoon, Y., & Geronimo, F. K. F. (2012). Flood reduction analysis on watershed of LID design demonstration district using SWMM5. Desalination and Water Treatment, 38(1–3), 1944–3994. https://doi.org/10.1080/19443994.2012.664377.

Lenhart, H. A., & Hunt, W. F. (2011). Evaluating Four Storm-Water Performance Metrics with a North Carolina Coastal Plain Storm-Water Wetland. Journal of Environmental Engineering, 137(2), 155–162. https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000307.

Li, C., Fletcher, T. D., Duncan, H. P., & Burns, M. J. (2017). Can stormwater control measures restore altered urban flow regimes at the catchment scale? Journal of Hydrology, 549, 631–653. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.037.

Liang, C., You, G. J., & Lee, H. (2019). Investigating the effectiveness and optimal spatial arrangement of low- impact development facilities. Journal of Hydrology, 577(4), 124008. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124008.

Lloyd, S. D., Wong, T. H. F., & Chesterfield, C. (2014). Water Sensitive Urban Design — A Stormwater Management Perspective. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/260400236_Water_Sensitive_Urban_Design_-_A_Stormwater_Management_Perspective.

Luan, B., Yin, R., Xu, P., Wang, X., Yang, X., Zhang, L., & Tang, X. (2019). Evaluating Green Stormwater Infrastructure strategies efficiencies in a rapidly urbanizing catchment using SWMM-based TOPSIS. Journal of Cleaner Production, 223, 680–691. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.028.

Lundy, L., Ellis, J. B., & Revitt, D. M. (2012). Risk prioritisation of stormwater pollutant sources. Water Research, 46(20), 6589–6600. https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.10.039.

Luoni, S., Amos, C. A., Breshears, K., Huber, J., Jacobs, C., Reyenga, S. M., … Teague, K. (2010). Low Impact Development: a design manual for urban areas. Fayetteville, AR, USA: University of Arkansas Community Design Center. Recuperado de https://s3.amazonaws.com/uacdc/LID-Manual_Excerpt.pdf.

Macdonald, N., & Jones, P. (2006). The inclusion of sustainable drainage systems in flood management in the post-industrial city: A case study of Glasgow. Scottish Geographical Journal, 122(July 2015), 233–246. https://doi.org/10.1080/00369220618737268.

Marsalek, J., & Schreier, H. (2009). Innovation in stormwater management in canada: The way forward. Water Quality Research Journal of Canada, 44(1). https://doi.org/10.2166/wqrj.2009.001.

Martínez Candelo, G. (2013). Sistemas urbanos de drenaje sostenible «SUDS» como alternativa de control y regulación de las aguas lluvias en la ciudad de Palmira. Universidad Militar Nueva Granada.

Massachusetts Department of Environmental Protection. (2008). Structural BMP Specifications for the Massachusetts Stormwater Handbook. En Stormwater Handbook Volume 2. Boston, MA, USA. Recuperado de http://www.mass.gov/eea/docs/dep/water/laws/i-thru-z/v2c2.pdf.

Massoudieh, A., & Aflaki, S. (2017). User ' s Manual for Green Infrastructure Flexible Model (GIFMod).

Massoudieh, A., Maghrebi, M., Kamrani, B., Nietch, C., Tryby, M., Aflaki, S., & Panguluri, S. (2017). A flexible modeling framework for hydraulic and water quality performance assessment of stormwater green infrastructure. Environmental Modelling and Software, 92, 57–73. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.02.013.

Matzinger, A., Schmidt, M., Riechel, M., Hein, A., Bräcker, J., Strehl, C., … Rouault, P. (2014). Quantifying the effects of urban stormwater management — towards a novel approach for integrated planning. En 13th International Conference on Urban Drainage (pp. 1–8). https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4762.7128.

McCuen, R. H., Johnson, P. A., & Ragan, R. M. (2002). Highway Hydrlogy. Hydraulic Design Series Number 2 (Second). Greenbelt, MD, USA.

Melbourne Water. (2005). WSUD engineering procedures: stormwater. Collingwood, VIC, Australia: CSIRO Publishing.

VERSIÓN BORRADOR

Melbourne Water. (2020). Stormwater management. Recuperado 19 de diciembre de 2020, de https://www.melbournewater.com.au/building-and-works/stormwater-management.
Mera, A. (2018). Cali, una ciudad que se llena de «piscinas» con cada aguacero. Recuperado 19 de diciembre de 2020, de https://www.elpais.com.co/cali/una-ciudad-que-se-llena-de-piscinas-con-cada-aguacero.html.
Merriman, L. S., Hunt, W. F., & Bass, K. L. (2016). Development/ripening of ecosystems services in the first two growing seasons of a regional-scale constructed stormwater wetland on the coast of North Carolina. Ecological Engineering, 94, 393-405. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.065.
Miguez, M. G., Rezende, O. M., & Veról, A. P. (2014). City Growth and Urban Drainage Alternatives: Sustainability Challenge. Journal of Urban Planning and Development, 141(3), 04014026. https://doi.org/10.1061/(asce)up.1943-5444.0000219.
Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Por medio del cual se reglamente parcialmente la Ley 1083 de 2006 (2010). Colombia.
Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. Resolucion 0549 de 2015, Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio § (2015). Colombia. Recuperado de http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549 - 2015.pdf.
Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. Resolución 0330 de 2017: «Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS- y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009», Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Republica de Colombia. § (2017). Colombia. Recuperado de http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf.
Ministerio de Vivienda y Urbanismo, & Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. (1996). Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. Guía de Diseño. Santiago de Chile.
Ministerio Vivienda Ciudad Territorio. (2015). Anexo 1. Código de construcción sostenible en Colombia Agosto 2013 Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones. Recuperado de http://camacol.co/sites/default/files/IT-Reglamentos/ANEXO 1 Guia de construccion sostenible - JULIO 8 2015.pdf.
Minneapolis Public Works TPP. (2018). P1010052. Recuperado 10 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/gompls/43629859571/.
Molina León, M. P., Gutiérrez, L., & Salazar, J. (2011). Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN. Bogotá D.C.

Monrose, J., Tota-Maharaj, K., Cheddie, D., & Mwasha, A. (2017). A permeable pavement system utilising recycled concrete aggregate in the sub-base – Preliminary laboratory performance assessments. En World Environmental and Water Resources Congress 2017: Water, Wastewater, and Stormwater; Urban Watershed Management; and Municipal Water Infrastructure - Selected Papers from the World Environmental and Water Resources Congress 2017 (pp. 140-155). https://doi.org/10.1061/9780784480632.010.
Montgomery County Planning Commission. (2014). Einstein Infiltration trench. Recuperado 11 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/75012107@N05/14660267252/.
Moore, T. L. C., & Hunt, W. F. (2012). Ecosystem service provision by stormwater wetlands and ponds - A means for evaluation? Water Research, 46(20), 6811-6823. https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.026.
Morison, P. J., & Brown, R. R. (2011). Understanding the nature of publics and local policy commitment to Water Sensitive Urban Design. Landscape and Urban Planning, 99(2), 83-92. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.08.019.

VERSIÓN BORRADOR

National Association of City. (2017). Urban Street Stormwater Guide. Washington D.C: Island Press.
Neitsch, S. ., Arnold, J. ., Kiniry, J. ., & Williams, J. . (2011). Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resources Institute. Recuperado de https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf.
Ospina Gómez, J. I., Figueroa Ruiz, M. G., Marulanda Arbeláez, J., & Borrero Hurtado, A. (2010). Manual de Diseño y Construcción de Elementos Constitutivos del Espacio Público. Santiago de Cali: Alcaldía de Santiago de Cali.
PC-Progress. (2019). The Hydrus-1D Description. Recuperado 11 de diciembre de 2020, de https://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?H1D-description#k1.
Pennsylvania Land Trust Association. (2019). Working with Nature to Manage Stormwater. Recuperado 3 de diciembre de 2020, de https://conservationtools.org/guides/166-working-with-nature-to-manage-stormwater.
Philadelphia Water Department. (2015). Stormwater Management Guidance Manual (Version 3). Philadelphia, PA, USA.
Philadelphia Water Department. (2015). Stormwater Management Guidance Manual (Version 3). Philadelphia, PA, USA.
Pitt, R., Maestre, A., Morquecho, R., Brown, T., Schueler, T., Cappiella, K., … Swann, C. (2004). National Stormwater Quality Database (NSQD). Tuscaloosa: University of Alabama.
Pizarro Tapia, R., Flores Villanelo, J. P., Sangüesa Pool, C., & Martínez Araya, E. (2004). Monografías. Zanjas de infiltración. Talca, Chile: Universidad de Talca Bosques de Chile S.A. Terranova S.A. Bosques Villanueva Ltda.
Qin, H. peng, Li, Z. xi, & Fu, G. (2013). The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. Journal of Environmental Management, 129, 577–585. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.026.
Revitt, M., Scholes, L., & Ellis, B. (2008). Assessment criteria for sustainable urban drainage systems. En DayWater: an Adaptive Decision Support System for Urban Stormwater Management (pp. 65–77).
Romnée, A., Evrard, A., & Trachte, S. (2015). Methodology for a stormwater sensitive urban watershed design. Journal of Hydrology, 530, 87–102. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.054.
Roy, A. H., Wenger, S. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R., Shuster, W. D., … Brown, R. R. (2008). Impediments and Solutions to Sustainable, Watershed-Scale Urban Stormwater Management : Lessons from Australia and the United States. Environmental Management, 42(2), 344–359. https://doi.org/10.1007/s00267-008-9119-1.
Salarpour, M., Rahman, N. A., & Yusop, Z. (2011). Simulation of Flood Extent Mapping by InfoWorks RS-Case Study for Tropical Catchment. Journal of Software Engineering, 5(4), 127–135. https://doi.org/10.3923/jse.2011.127.135.
Samouei, S., & Özger, M. (2020). Evaluating the performance of low impact development practices in urban runoff mitigation through distributed and combined implementation. Journal of Hydroinformatics, 22(6), 1506—1520. https://doi.org/10.2166/hydro.2020.054.
Scholes, L., Revitt, D. M., & Ellis, J. B. (2008). A systematic approach for the comparative assessment of stormwater pollutant removal potentials. Journal of Environmental Management, 88(3), 467–478. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.003.
Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). Resolución 1138 de 2013 (2013). Bogotá, Colombia: Secretaría Jurídica Distrital.
Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), & Secretaría Distrital de Planeación (SDP). Resolución Conjunta 001 de 2019 (2019). Bogotá D.C., Colombia: Secretaría Jurídica Distrital.
Secretaría Distrital de Planeación (SDP). (2018). Cartilla de Andenes Bogotá D.C. Bogotá D.C.: Secretaría Distrital de Planeación– Dirección del Taller del Espacio Público.

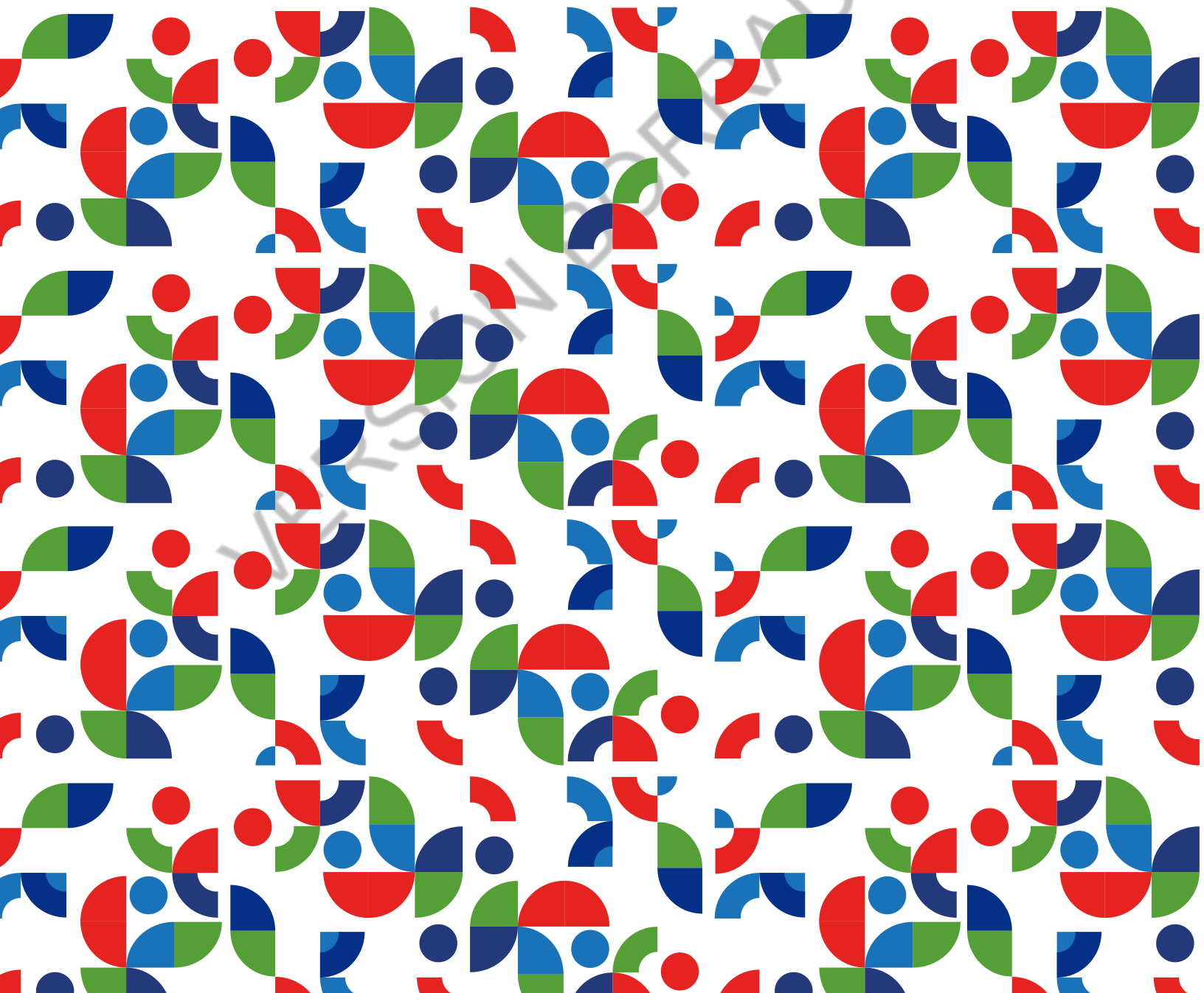
VERSIÓN BORRADOR

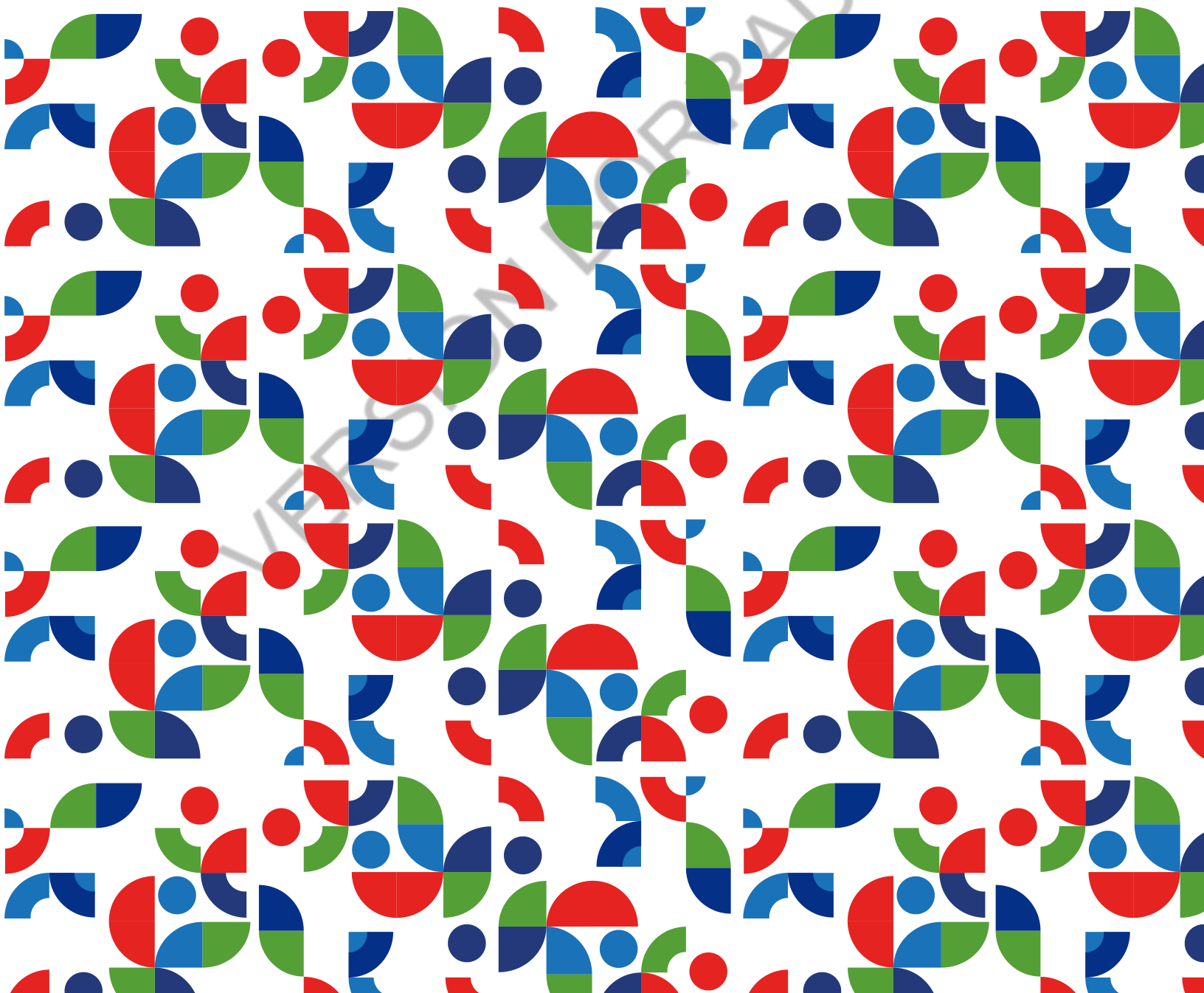
Semadeni-Davies, A., Hernebring, C., Svensson, G., & Gustafsson, L. G. (2008). The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system. Journal of Hydrology, 350(1–2), 100–113. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.05.028.
Severson, L., & Atchison, D. (2004). RECARGA User's Manual. Version 2.3. Madison, WI, USA. Recuperado de http://dnr.wi.gov/topic/stormwater/standards/recarga.html
Smaniotto Costa, C., Norton, C., Domene, E., Hoyer, J., Marull, J., & Salminen, O. (2015). Water as an Element of Urban Design: Drawing Lessons from Four European Case Studies. Sustainable Water Use and Management, 313–337. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12394-3.
Strecker, E., Sheffield, A., Cristina, C., & Leisenring, M. (2010). Stormwater BMP Guidance Tool. A Stormwater Best Management Practices Guide for Orleans and Jefferson Parishes. LA, USA: Bayou Land RC&D & Louisiana Public Health Institute.
Superservicios. (2018). Evaluación integral de prestadores. Empresas municipales de Cali E.I.C.E. E.S.P.
SureSet. (2020). SureSet Permeable Paving. Spectrum. Recuperado 2 de diciembre de 2020, de https://www.sureset.co.uk/paving-ranges/spectrum/.
Susdrain. (2020). SuDS management train. Recuperado 19 de diciembre de 2020, de https://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-principles/management-train.html.
The City of Toronto. (2012). Toronto: Footbridge over the Don River. Recuperado 18 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/34608255@N08/10056391075.
Thevenot, D. R. (2008). DayWater: an Adaptive Decision Support System for Urban Stormwater Management. Water Intelligence Online (Vol. 7). https://doi.org/10.2166/9781780401928.
TIA International Photography. (2015). Bell Street Park. Recuperado 9 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/seattleparks/20730640362/in/album-72157657462807486/.
Tiange, W. H. S. J. W. and E. F. (2020). Framework, Procedure, and Tools for Comprehensive Evaluation of Sustainable Stormwater Management : A Review. Water (Switzerland), 12.
Tillinghast, E. D., Hunt, W. F., & Jennings, G. D. (2011). Stormwater control measure (SCM) design standards to limit stream erosion for Piedmont North Carolina. Journal of Hydrology, 411(3), 185–196. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.09.027.
Toronto and Region Conservation Authority, & Credit Valley Conservation. (2010). Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide. Toronto, ON, Canada.
Trapote Jaume, A., & Fernández Rodríguez, H. (2016). Memoria del proyecto: Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible. Alicante, España. Recuperado de http://www.agroambient.gva.es/documents/163005665/163975683/AGRICULTURA8-16I+memoria/1d8cb413-3eb3-4f5e-a247-e4466a59b21c.
Trujillo López, A., & Quiroz Lasprilla, D. P. (2013). Pavimentos porosos utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano. Pontificia Universidad Javeriana.
United States Environmental Protection Agency. (2015). Storm Water Management Model User ' s Manual Version 5 . 1.
Universidad del Valle. (2019). Convenio Interadministrativo CVC 067-2019. Estudio de inundaciones en los ríos Cali-Aguacatal, Meléndez y Pance. Santiago de Cali.
University of Michigan School for Environment and Sustainability. (2016). Bioretention Gardens in Detroit. Recuperado 14 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/snre/27029503381/.
Urban Drainage and Flood Control District. (2010). Urban Storm Drainage. Criteria Manual. Volume 3-Best Management Practices. Denver, CO, USA: Water Resources Publications, LLC.
US Army Corps of Engineers. (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual. (A. D. Feldman, Ed.). Davis, CA, USA.
US Army Corps of Engineers. (2020). HEC-HMS. Recuperado 10 de diciembre de 2020, de https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/.

VERSIÓN BORRADOR

Van de Meene, S., Bettini, Y., & Head, B. W. (2020). Transitioning toward sustainable cities-challenges of collaboration and integration. Sustainability (Switzerland), 12(11), 1–23. https://doi.org/10.3390/su12114509.
Venner, M., Strecker, E., Leisenring, M., Pankani, D., & Taylor, S. (2013). NCHRP 25-25 / 83 : Current Practice of Post-Construction Structural Stormwater Control Implementation for Highways. Lakewood, CO, USA: National Cooperative Highway Research Program.
Virginia Department of Transportation. (2013). BMP Desing Manual of Practice, 1, 344.
Volkening, A. (2008). Indian Bend Wash Greenbelt. Recuperado 11 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/albums/72157652751920386.
Volkening, A. (2010a). Greendale_GrangeAve_2010_07_08. Recuperado 8 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/7994696125/.
Volkening, A. (2010b). Waukesha_GrandviewPark2010_10. Recuperado 11 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/14983368653/.
Volkening, A. (2010c). Waukesha_GrandviewPark2010_12. Recuperado 10 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/14983458643/.
Volkening, A. (2011). Milw_Pabst_OverflowInBMP. Recuperado 14 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/7996221448/.
Volkening, A. (2012a). Greendale_AmbrusterPark_DryDetOutlet. Recuperado de https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/8027655926.
Volkening, A. (2012b). Milw_Flatiron1560_N_Water_bioret_may2012_3. Recuperado 14 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/11339203474/.
Volkening, A. (2012c). MilwCanalStStormwaterPark_ForebayWater. Recuperado 14 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/8243964673.
Volkening, A. (2012d). PEW-C_KwikTrip_5145_DetBasinOverview_oct2012. Recuperado 11 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/14163232417/.
Volkening, A. (2014a). 2014_10_10_SouthConcApron_a. Recuperado 8 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/16741737886/.
Volkening, A. (2014b). BrownDeer_43stStCulDeSac_curbcut_may2014. Recuperado 14 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/16434968202/.
Volkening, A. (2014c). GRFIELD_RoadsideSwaleFlowDuringRain_Spring2007. Recuperado 9 de diciembre de 2020, de https://www.flickr.com/photos/87297882@N03/14267342231/.
Wihlborg, M., Sörensen, J., & Alkan Olsson, J. (2019). Assessment of barriers and drivers for implementation of blue-green solutions in Swedish municipalities. Journal of Environmental Management, 233, 706–718. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.018.
Wilson, C. E., Hunt, W. F., Winston, R. J., & Smith, P. (2015). Comparison of Runoff Quality and Quantity from a Commercial Low-Impact and Conventional Development in Raleigh , North Carolina. Journal of Environmental Engineering, 141(2), 05014005. https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000842.
Woods Ballard, W., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellager, R. (2007). The SuDS manual. London, UK: CIRIA. https://doi.org/London C697.
Zahmatkesh, Z., Burian, S. J., Karamouz, M., & Asce, F. (2015). Low-Impact Development Practices to Mitigate Climate Change Effects on Urban Stormwater Runoff : Case Study of New York City. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 141(1), 1–13. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000770.
Zanin, G., Bortolini, L., & Borin, M. (2018). Assessing Stormwater Nutrient and Heavy Metal Plant Uptake in an Experimental Bioretention Pond. Land, 150(7). https://doi.org/10.3390/land7040150.

VERSIÓN PREVIA CORREGIDOR


VERSIÓN BORRADOR


VERSIÓN BORRADOR

VERSIÓN BORRADOR

Puro Corazón por Cali

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI

Pontificia Universidad JAVERIANA Cali