

# Guía para la Gestión Sostenible y Circular del Agua en Edificaciones



---

**Dirección Editorial**

---

Viviana Valdivieso CCCS

---

**Colaboradores Editoriales**

---

Abby Ortega Universidad de Bonn  
Natalia Arroyave CCCS  
Juan David Lizcano CCCS

---

**Comité Editorial (Autores)**

---

Angélica Ospina CCCS  
José Alejandro Mora Llanos Universidad de los Andes  
Juan Pablo Rodríguez Universidad de los Andes  
Lorena Pupo CCCS  
Rafael Bracamonte Universidad de los Andes  
Sergio Andrés Muñoz Universidad de los Andes  
Tatiana Carreño CCCS

---

**Diagramación y Diseño de cubierta**

---

Ima Barraza Design Studio

ISBN: 978-958-53949-2-6

---

**MAYOR INFORMACIÓN**

© Consejo Colombiano de Construcción Sostenible 2022  
Todos los derechos reservados.  
Dir. de correspondencia: Carrera 7 # 71-21  
Edificio Avenida Chile, Torre A, Piso 5. AA 110231  
Bogotá, Colombia  
[www.cccs.org.co](http://www.cccs.org.co)

**Agradecimientos**

Se hace un reconocimiento especial a las siguientes empresas por su participación:

Aeropuerto El Dorado  
Amarilo  
Centro Internacional de Agricultura Tropical  
Conaltura  
Constructora Bolívar  
Cuatroplanos  
Davivienda  
Gaia Arquitectura y Paisaje  
Green Factory  
Green Loop  
Groncol  
Grupo G&B Ingenieros  
Helecho  
Helvex Colombia  
Hidrinco S.A.S  
HVAC Consulting  
IHC ingeniería  
Isoscol  
Jardín Botánico de Bogotá  
Mexichem Colombia SAS - Pavco  
SemperGreen  
Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá  
Setri Sustentabilidad  
Soluciones impermeables y de ingeniería.  
SYMA Consultores y Constructores  
SUMAC  
Universidad de los Andes  
Universidad EAN  
Universidad del Norte  
VIC

Un agradecimiento a todas las personas que participaron en el estudio y en el proceso de entrevistas.

El contenido de la presente publicación se encuentra protegido por las normas internacionales y nacionales vigentes sobre propiedad intelectual, por tanto su utilización, reproducción, comunicación pública, transformación, distribución, préstamo público e importación, total o parcial, en todo o en parte, en formato impreso, digital, o cualquier formato conocido o por conocer, se encuentran prohibidos, y solo serán lícitos en la medida en que se cuente con la autorización previa y expresa por escrito de los autores. El CCCS no garantiza la precisión, confiabilidad o integridad del contenido incluido en este trabajo, ni de las conclusiones o juicios descritos en este documento, y no aceptan responsabilidad alguna por omisiones o errores (incluidos, entre otros, errores tipográficos y errores técnicos) en el contenido en absoluto o por confianza al respecto.



Vidrio Andino®





# TABLA DE CONTENIDO

1

PRÓLOGO

2

INTRODUCCIÓN

3

SIGLAS Y DEFINICIONES

4

¿CÓMO ES LA ESTRUCTURA DE LA GUÍA Y QUIÉN PUEDE USARLA?

5

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE LA GESTIÓN SOSTENIBLE Y CIRCULAR DEL AGUA EN EDIFICACIONES?

6

ENTENDIENDO EL CICLO HIDROLÓGICO

7

PASOS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

PASO 1:

Establecer las metas del proyecto y conocer las condiciones de contexto

PASO 2:

Implementar estrategias para reducción de cargas

- Reducción de cargas en aparatos sanitarios
- Reducción de cargas para riego en paisajismo
- Reducción de cargas para otros usos específicos

PASO 3:

Replicar los flujos naturales

- Estrategias de sostenibilidad para la gestión de la escorrentía
- Metodología de cálculo para la gestión de escorrentía

PASO 4:

Evaluar fuentes alternativas de abastecimiento

- Estrategias de sostenibilidad para usar el agua lluvia
- Estrategias de sostenibilidad para usar agua de condensado HVAC
- Estrategias de sostenibilidad para uso de agua gris
- Estrategias de sostenibilidad para uso de aguas servidas domésticas
- Estrategias de sostenibilidad para uso de otros tipos de fuentes

PASO 5:

Integrar estrategias para mejorar la calidad del vertido

8

BALANCE HÍDRICO: HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE Y CIRCULAR DEL AGUA

Balance general del proyecto

Balance hídrico por componente

- Diseño hidrológico – Componentes para la gestión de escorrentía
- Diseño hidrológico – Componentes para almacenamiento y uso

9

ESTUDIO DE CASO: FUTURE SEEDS - CIAT

PASO 1:

Metas del proyecto y condiciones del contexto

PASO 2:

Implementar estrategias para reducción de cargas

PASO 3:

Replicar los flujos naturales

PASO 4:

Evaluar fuentes alternativas de abastecimiento

PASO 5:

Integrar estrategias para mejorar la calidad del vertido

10

BIBLIOGRAFÍA

11

APÉNDICE A: MARCO NORMATIVO

APÉNDICE B: GRÁNULOS DE HUMEDAD POR PIE CÚBICO DE AIRE



# 1

## PRÓLOGO

En las ciudades convergen dos sistemas: el ecológico y el antropogénico. El sistema antropogénico se ha distanciado a las lógicas y enormes potenciales del sistema ecológico. Durante mucho tiempo, el sistema antropogénico ha dominado en la forma en que transforman y se planifican las ciudades. Estamos en un momento y una oportunidad de re direccionar las tendencias inerciales del mal llamado “desarrollo” y transformar los procesos de hacer ciudad contribuyendo en su conectividad, funcionalidad y estética ecológica en una nueva cultura de relaciones con la naturaleza.

Cada ciudad tiene ecologías y culturas únicas. Estos deberían expresarse vitalmente en la arquitectura y la forma urbana de la ciudad.

Siendo esta una guía nacional, resulta fundamental replantear los paradigmas de crecimiento y calidad humana reconociendo la influencia y los beneficios de la naturaleza y sus servicios ecosistémicos, migrando hacia el urbanismo ecológico y la planificación del paisaje. Específicamente en uno de los componentes más vitales y representativos de Colombia: el agua.

La comprensión de la complejidad de este panorama radica en entender, por un lado, la gobernanza del agua en territorios en los cuales convergen múltiples e intrincadas formas de apropiación y de planificación, y, por otra parte, comprender la relaciones, las sinergias que ocurren en ese territorio rico y diverso en el que convergen múltiples miradas y existe una diversidad de seres vivos, aparte de los humanos.

La planificación y el diseño juegan un rol fundamental en la ciudad si esta se entiende como parte de un sistema vivo y si se contemplan todos los aspectos de desarrollo urbano engranados en el metabolismo de una región en la cual la provisión de materiales y sus desechos se relacionan con los procesos de los ecosistemas. Las ciudades no son estáticas, tienen una dinámica asociada a su contexto mayor.

En ese sentido, tanto la planeación como el diseño urbano y de paisaje deben ofrecer posibilidades para que la flora, la fauna y las

personas estén mejor conectadas; deben propiciar un equilibrio urbano-rural multifuncional y generar un paisaje urbano conectado y permeable con una distribución y un acceso a la naturaleza y por supuesto el agua que disminuyan las brechas de inequidad. Así mismo, las estrategias de expansión y cualificación de las áreas verdes en la ciudad deben estar orientadas a equilibrar estos patrones de inequidad entre las distintas zonas y barrios.

Es fundamental que la matriz urbana que crece por encima de las geografías y de los ecosistemas sin adaptarse a ellos —en un momento en el que el desarrollo es extenso y ha afectado y fragmentado dichos ecosistemas— ofrezca oportunidades para la biodiversidad. Muchos estudios nos hablan sobre la necesidad de evidenciar las contribuciones de la naturaleza para las personas, ya sea a través de narrativas, proyectos demostrativos, cuantificaciones económicas, etc.

En el diseño es importante integrar las múltiples funciones alternativas que desempeñan las áreas verdes y el espacio público, no solo como escenarios socioculturales, de actividades económicas y cívicas, de manifestaciones, como redes de abastecimiento y de movilidad activa o como factores de resiliencia comunitaria sino también como estructuradores y conectores de la ciudad con sus ecosistemas y como soporte de la naturaleza y la biodiversidad.

En ciudades de alta pluviosidad, como es la mayoría de las poblaciones de Colombia, el agua puede constituir un elemento inspirador para la creación urbana, dejándola visible, incorporándola.

Los diseños o intervenciones deben comprender la cuenca desde el nacimiento hasta la desembocadura y contemplar su afectación o manejo. Dentro de los parámetros de valoración se debe entender el estado de las rondas hídricas naturales, la calidad del agua y las medidas de aprovechamiento de aguas lluvias.

El manejo integral del agua permite regular el diseño acorde a los periodos de lluvias y en el espacio público contribuye a mitigar las inundaciones y a reducir la velocidad de las mismas mediante aplicaciones adecuadas de infraestructura verde y diseños basados en la naturaleza.

En el mundo se están implementando estrategias de manejo sostenible de las aguas que exigen el uso de materiales permeables en el espacio público general, el direccionamiento de la escorrentía urbana por medio de pavimentos permeables para infiltración en el terreno y la creación de zonas de retención o la implementación de zonas verdes que imiten los procesos naturales de infiltración. Esta publicación está contribuyendo a transitar en ese sentido iniciando por las edificaciones, primera pieza de la compleja cadena de construcción de la ciudad, un inicio que podrá desencadenarse posteriormente a una visión a escala urbano regional.

El agua no debe verse solo como un recurso. No debe considerarse solamente como fuente de energía o como un recurso líquido para nuestro provecho: debemos reconocer su importancia como elemento integrador y, ahondar en el significado profundo como fuente de vida y entendiendo el sentido sagrado que tiene para muchas culturas.

### **Diana Wiesner Ceballos**

Diana Wiesner Arquitectura y Paisaje SAS  
Fundación Cerros de Bogotá  
Directora



# 2

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Global Water Partnership (GWP), Colombia se encuentra dentro de los diez países con mayor recurso hídrico del planeta, con seis nevados, más de 48.000 humedales y dos de las cuencas fluviales más importantes del mundo (ríos Orinoco y Amazonas)<sup>1</sup>, por lo que es considerada potencia hídrica mundial, con una gran responsabilidad en su conservación.

De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (ENA) (IDEAM, 2019) los sectores económicos con mayor participación en el uso de agua en el país son el agrícola con el 43% y el de energía con el 24%. Al sumar los diferentes sectores que están asociados con la edificación (doméstico, de servicios, y de construcción), se obtiene una participación de aproximadamente el 10% en el consumo directo total de agua<sup>2</sup>, lo que corresponde a una demanda hídrica aproximada de 3.754 millones de m<sup>3</sup> anuales. Adicionalmente, teniendo en cuenta la matriz energética colombiana, el sector tiene una responsabilidad indirecta por el consumo de agua en la producción de energía<sup>3</sup>.

La edificación, además de demandar el recurso hídrico para consumo durante su operación, genera otro impacto a nivel de la urbanización con el aumento en las áreas impermeables, las cuales generan reducción en la infiltración y en los tiempos de concentración de la precipitación. Esto implica un aumento en el volumen, velocidad y frecuencia de la escorrentía y una disminución de la calidad del agua debido al arrastre de contaminantes. Por lo tanto, la gestión sostenible y circular del agua en edificaciones tiene como principal objetivo reducir el impacto generado por la construcción mediante estrategias que replican el ciclo hidrológico y disminuyen la demanda de agua dentro de los proyectos.

El Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), en su misión de asegurar con mejores prácticas de urbanismo y construcción sostenible, entornos prósperos, ambientalmente responsables, inclusivos y saludables para todos, lidera el desarrollo de la *Guía para la gestión sostenible y circular del agua en edificaciones*, con la participación de diferentes actores de la cadena de valor de la construcción. Para su elaboración se llevaron a cabo entrevistas con expertos y profesionales del sector, apoyadas en recursos secundarios obtenidos de otros estudios y guías existentes en la materia.

La estructura de esta guía está alineada con los objetivos de una gestión sostenible y circular del recurso hídrico. Para esto se da inicio con la explicación del concepto del ciclo hidrológico, el cual es la base para el entendimiento del recurso. Después, se presentan los pasos en el orden correcto que se deben llevar a cabo para la gestión del agua en la construcción sostenible, dentro de los cuales se describen las estrategias de sostenibilidad asociadas, la metodología de cálculo sugerida y algunos ejemplos. Seguido, se detalla el balance hídrico como principal herramienta transversal de todos los pasos. Finalmente, se presenta el estudio de caso de un proyecto desarrollado con altos estándares de sostenibilidad y circularidad del agua como ejemplo completo de este proceso.

Este documento es una herramienta que permitirá a la industria de la construcción y al usuario final entender el ciclo hidrológico y el impacto de los desarrollos inmobiliarios en la interrupción del mismo para conocer las estrategias de sostenibilidad que permiten hacer un uso racional del recurso hídrico y las mejores prácticas asociadas.

<sup>1</sup> WWF Colombia. Recuperado de [https://www.wwf.org.co/que\\_hacemos/agua/](https://www.wwf.org.co/que_hacemos/agua/)

<sup>2</sup> Adaptado del Estado de la Construcción Sostenible en Colombia. CCCS, 2021

<sup>3</sup> Las plantas hidroeléctricas representan 68% de la oferta energética en Colombia. La República, 2019. Recuperado de <https://www.larepublica.co/especiales/efecto-hidroituango/las-plantas-hidroelectricas-representan-68-de-la-oferta-energetica-en-colombia-2829562>

# 3

## SIGLAS Y DEFINICIONES

**Agua de condensado del sistema HVAC:** En este documento, hace referencia al agua generada por los equipos mecánicos de refrigeración en el proceso de remoción de humedad del aire.

**Agua gris:** Son las aguas residuales que no han estado en contacto con materia fecal u orinal. Usualmente son las provenientes de aparatos de flujo como grifo de lavamanos y duchas, y electrodomésticos como lavadoras de ropa.

**Agua no potable:** Agua que no cumple con los estándares de calidad para consumo humano, o para preparación de alimentos o uso personal.

**Agua potable:** Agua que cumple con los requerimientos de calidad para el consumo humano y preparación de alimentos. Esta debe estar libre de patógenos y de impurezas que pueden afectar la salud humana y debe cumplir con calidad química y bacteriológica según los requisitos de ley.

**ARD:** Aguas residuales domésticas, son las aguas utilizadas de origen doméstico. Se compone de aguas grises y servidas.

**Aguas servidas, negras o cloacales:** Estos términos hacen referencia a las aguas obtenidas después de la intervención humana, que altera su composición natural debido a los desechos orgánicos y químicos.

**Balance hídrico:** Principio de conservación de masa de agua en los sistemas hidrológicos, también conocido como ecuación de continuidad, que analiza las entradas y salidas de agua en un volumen de control en un intervalo de tiempo.

**Carga:** En este documento, hace referencia a la cantidad de agua demanda por el proyecto.

**Ciclo hidrológico:** Sistema cerrado de transporte y transformación del agua en los sistemas atmosféricos, terrestres y subterráneos.

**Descarga controlada:** Paso controlado de agua con almacenamiento previo.

**Desinfección:** Corresponde al tratamiento que permite la eliminación de los patógenos en el agua.

**Especie nativa o adaptada:** Especie autóctona u originaria de un lugar o adaptada a las condiciones del ecosistema local.

**Fluxómetro:** Mecanismo de descarga de agua a presión, utilizado comúnmente en inodoros u orinales.

**Filtración:** Proceso con el cual se remueven las partículas suspendidas o coloidales al pasar el agua por un medio poroso.

**Gránulos de humedad:** Unidad de medida de la humedad absoluta. Corresponde a la cantidad de agua por unidad de aire seco.

**Humedad relativa:** Relación entre la máxima cantidad de agua que puede tener una masa de aire y aquella que actualmente dispone.

**Humedad específica:** Relación de masa de vapor de agua (kg) por unidad de masa (kg) de aire seco.

**HVAC:** Siglas del inglés heating, ventilation and air conditioning, que traduce calefacción, ventilación y aire acondicionado.

**Legionela:** Es una bacteria que se encuentra naturalmente en los ambientes de agua dulce, como lagos y arroyos. Estas bacterias pueden convertirse en una preocupación de salud cuando se multiplican y propagan en los sistemas de agua artificiales de los edificios. Las personas pueden contraer la enfermedad del legionario o la fiebre de Pontiac cuando inhalan las gotas que contienen las bacterias. La legionella necesita unas condiciones determinadas para desarrollarse y multiplicarse hasta alcanzar concentraciones que puedan causar enfermedad (dosis infectiva), como son un medio hídrico con temperatura entre 20 y 45°C, (por debajo de 20°C la bacteria se encuentra en estado latente, a partir de 45°C deja de multiplicarse y por encima de 70°C muere), la temperatura óptima de crecimiento es de 35-37°C.

**Lpd:** Litros por descarga.

**Lpm:** Litros por minuto.

**Nivel de tratamiento:** Complejidad de un sistema de tratamiento considerando objetivos de calidad en el uso final y disponibilidad técnico-económicos.

**Percentil:** El percentil es una medida de posición usada en estadística que indica, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un grupo.

**Percentil de lluvia:** El evento de lluvia de un percentil X, representa una cantidad de precipitación que no excede el X por ciento de todos los eventos de lluvia para el período de registro.

**Periodo de retorno:** Hace referencia al tiempo promedio (años) en los que un evento extremo es igualado o superado.

**PSI:** Unidad de presión, hace referencia a las libras por pulgada cuadrada (pound per square inch, por sus siglas en inglés). Es una de las unidades de presión más utilizadas, aunque no es la única. (1 bar equivale a 14,5 psi).

**Sistema de reutilización:** Corresponde a todos los componentes para la recolección, almacenamiento, distribución y tratamiento del agua recuperada de fuentes alternativas.

**SUDS:** Sistema urbano de drenaje sostenible.

**SbN:** Soluciones basadas en la naturaleza.

**WaterSense:** Se refiere al sello que se les otorga a los aparatos hidrosanitarios que cumplen con parámetros de eficiencia y ahorros de agua establecidos.





# 4

## ¿CÓMO SE ESTRUCTURA ESTA GUÍA Y QUIÉN PUEDE USARLA?

Esta guía está diseñada para ser usada por el equipo de un proyecto inmobiliario a lo largo de todo el desarrollo de este. Con el fin de obtener los mejores resultados en la gestión sostenible del agua se recomienda utilizar el documento desde las primeras fases de planeación y conceptualización del proyecto. Sin embargo, se presentan estrategias de sostenibilidad relevantes en términos de diseño, construcción y operación. Esto permite que se puedan beneficiar de su contenido tanto proyectos nuevos como proyectos existentes que buscan mejorar su desempeño a nivel del recurso hídrico.

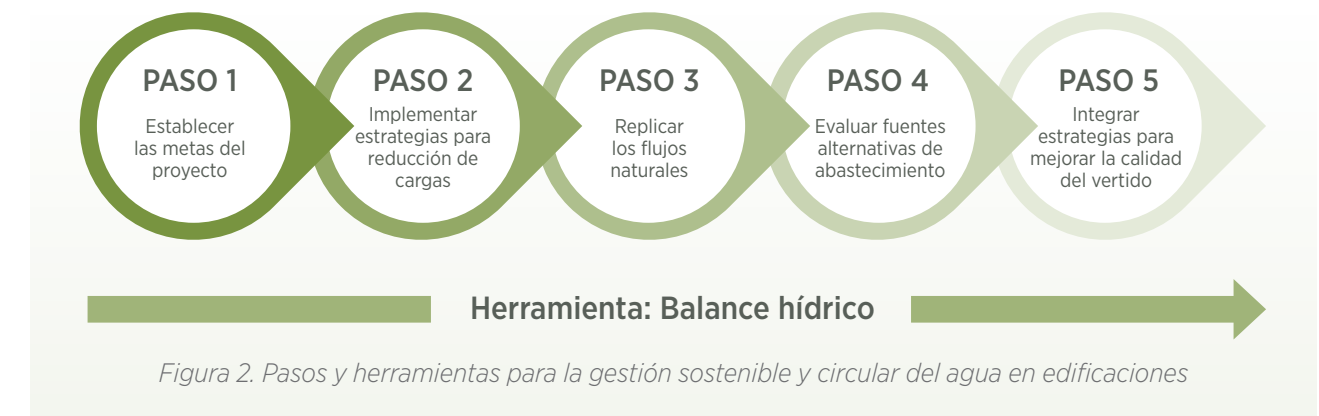
La guía usa como referencia los principios del proceso integrativo que buscan generar proyectos de alto rendimiento. Estos se basan en tener un entendimiento claro de los requerimientos del proyecto desde su planeación, el involucramiento temprano de las diferentes disciplinas relacionadas, el entendimiento de las relaciones entre sistemas y el potencial de optimizar estas a partir del análisis temprano de las interacciones, el buscar soluciones innovadoras por medio de un proceso de aprendizaje continuo creando ciclos de retroalimentación que permitan obtener beneficios ambientales y económicos, garantizando el bienestar de los usuarios y la comunidad.



Con el fin de aplicar estos principios a la gestión sostenible del agua, la guía propone los pasos que se deben ejecutar, buscando tener una estructura y un orden, para permitir a los miembros del proyecto hacerse las preguntas adecuadas en el momento adecuado, con el fin de tomar las decisiones más acertadas.

Adicionalmente, dentro de cada paso se explican las principales estrategias de sostenibilidad a implementar, que han sido recopiladas de la experiencia de expertos en la materia, así como las metodologías de cálculo cuando estas son aplicables. Finalmente, se muestran ejemplos claros de la aplicación tanto de las estrategias, como de los cálculos.

Después se incluye una descripción detallada de la principal herramienta para la gestión sostenible del agua: el balance hídrico. Aquí se presentan los cálculos requeridos y se explica cómo integrar la información obtenida en cada uno de los pasos que debe realizar el proyecto para hacer un análisis integral. Los ejemplos y el caso de estudio pueden ser usados por el equipo del proyecto para ampliar el entendimiento de las estrategias y los cálculos descritos, y para ampliar el conocimiento de los resultados que se pueden lograr al realizar una gestión sostenible y circular del agua.





5

## ¿POR QUÉ ES IMPORTANTE LA GESTIÓN SOSTENIBLE Y CIRCULAR DEL AGUA EN EDIFICACIONES?

El agua es un elemento indispensable para la vida, un recurso natural necesario pero vulnerable, cuyo acceso es cada vez más limitado. Aunque 70% de la superficie del planeta es agua, solo el 2,5% es agua dulce y menos del 1% está disponible para consumo humano. Su uso sostenible es uno de los mayores retos para la humanidad. Por esta razón, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que son el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos, y por medio de los cuales se hace un llamado a la acción a todos los países, organizaciones y personas del planeta, establecen dos de sus objetivos con un enfoque en la gestión sostenible y circular del recurso hídrico.

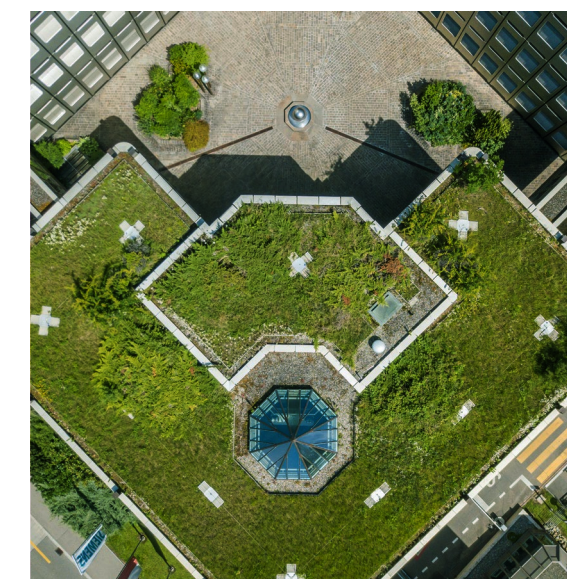


En el ODS 6 se reconoce que la gestión sostenible del agua no solo incluye lograr el acceso al agua potable y a servicios de saneamiento adecuados, sino también incorporar temas como la calidad del agua y la gestión de las aguas residuales, la escasez y el uso eficiente del agua, la gestión de los recursos hídricos, y la protección y el restablecimiento de los ecosistemas relacionados. Por su parte, desde el ODS 12 se busca lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, la circularidad y los estilos de vida en armonía con la naturaleza.



Los ODS son una herramienta de planificación y seguimiento para los países, tanto a nivel nacional como local. Colombia, como país firmante de los ODS, definió una estrategia para su implementación a través del CONPES 3918, en la cual la construcción sostenible juega un rol fundamental.

Las edificaciones y los proyectos urbanos, además de demandar una cantidad muy importante del recurso hídrico para su operación, generan otros impactos a nivel de la urbanización con el aumento en las áreas impermeables, la eliminación de la capa vegetal y por tanto la disrupción del ciclo hidrológico. Por lo tanto, la gestión sostenible y circular del agua en edificaciones tiene como principal objetivo reducir el impacto negativo y aportar a la construcción de un futuro regenerativo, mediante estrategias que replican el ciclo hidrológico y disminuyen la demanda de agua para la operación.







# 6

## EL CICLO HIDROLÓGICO

El agua se diferencia de los otros recursos naturales por su gran propiedad de renovación a causa del ciclo hidrológico. El ciclo hidrológico corresponde al proceso de circulación del agua a través del océano, la atmósfera, la tierra y los cuerpos de agua superficiales y subterráneos (Wang X.C., Zhang C., Ma X., 2015). En esta circulación ocurren diferentes procesos de transporte y transformación entre fases del agua que permiten que el ciclo se pueda completar. El ciclo también incluye el proceso de purificación del agua que ocurre naturalmente en estos procesos y usa como fuente principal al sol para tener continuidad.

Como inicio del ciclo se tomará el proceso de precipitación del agua almacenada en las nubes. El vapor de agua en la atmósfera se condensa para formar la **precipitación**, que se puede presentar en forma de lluvia, nieve o granizo. Una vez el agua cae a la superficie de la tierra, los procesos de **interceptación, infiltración o escorrentía** pueden ocurrir. El proceso de **interceptación** corresponde al agua capturada por la cobertura vegetal. Con respecto a la precipitación que llega al nivel del suelo, pueden ocurrir posteriormente los procesos de **infiltración o escorrentía superficial**. La proporción de agua que sigue cualquiera de estos procesos depende de la humedad,

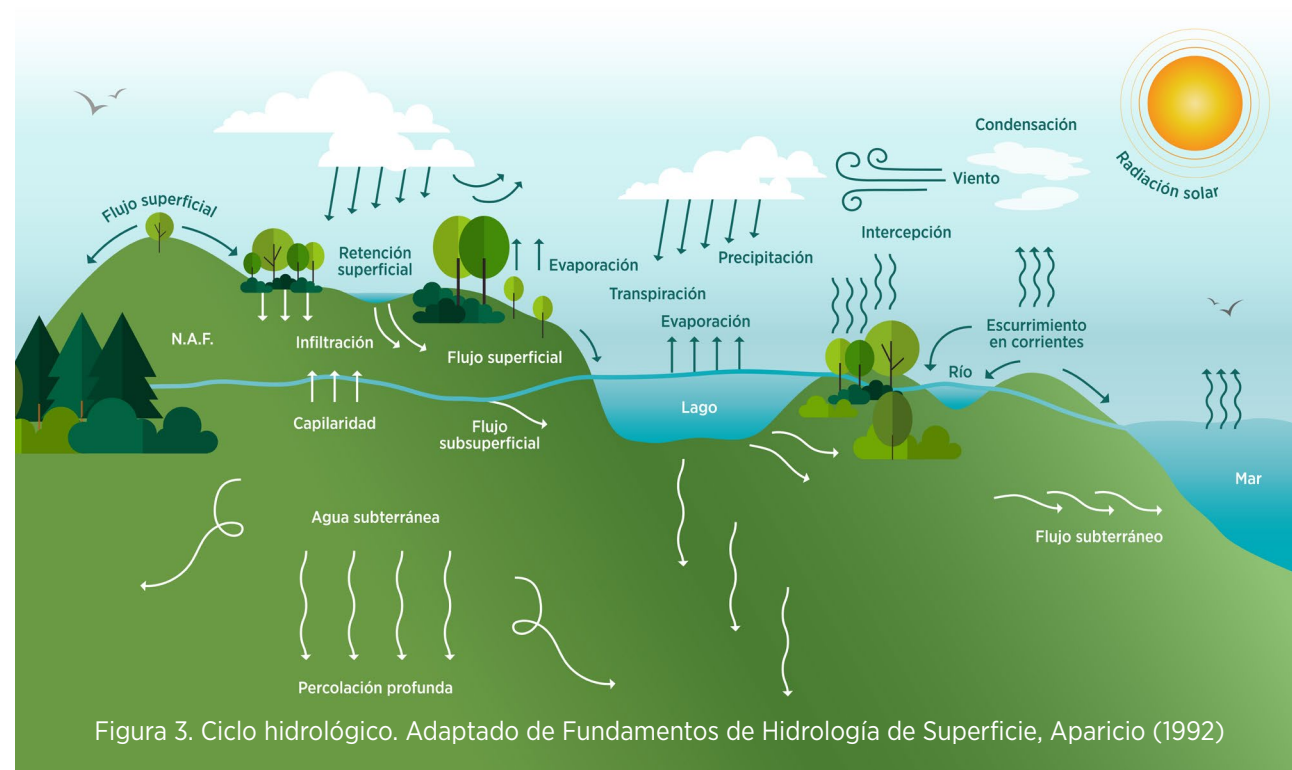
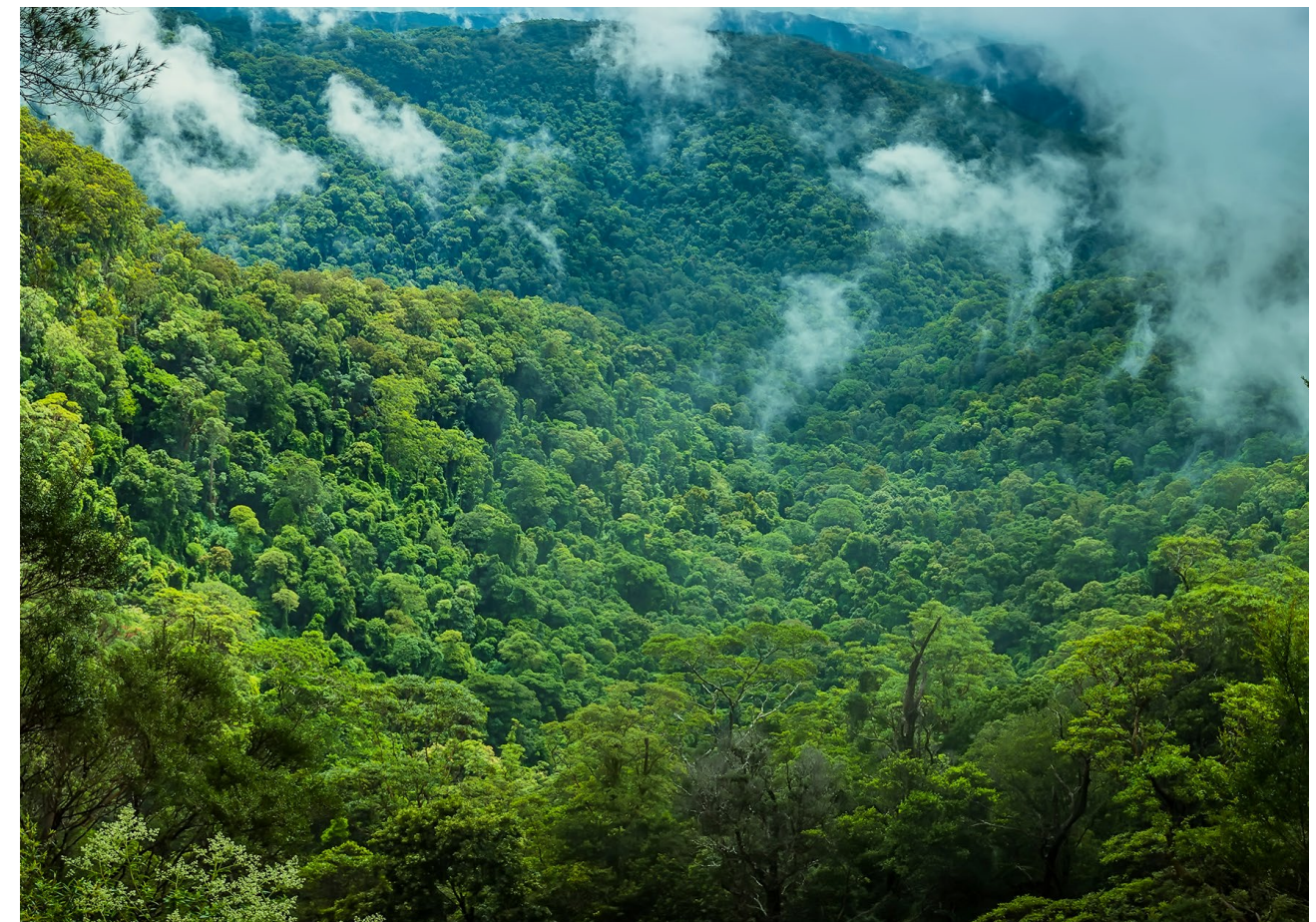


Figura 3. Ciclo hidrológico. Adaptado de Fundamentos de Hidrología de Superficie, Aparicio (1992)

la capacidad de retención y la permeabilidad que tenga el suelo (Brooks, Ffolliott, & Magner, 2012). Por un lado, el agua que se infiltra puede ser usada y transpirada por las especies vegetales o bien puede infiltrarse hasta los cuerpos de agua subterráneos. Por el otro lado, el agua que fluye por la superficie se convierte en escorrentía y se deposita en cuerpos de aguas superficiales como quebradas, ríos o lagunas. En este punto, es importante resaltar que, toda el agua interceptada o que se encuentre en la superficie se puede evaporar, y junto con la transpiración componen el proceso llamado **evapotranspiración**, que corresponde al agua que es devuelta a la atmósfera en forma de vapor (Brooks et al., 2012). Finalmente, el agua puede quedar almacenada en los diferentes cuerpos de agua superficiales y subterráneos o puede transportarse entre estos cuerpos hasta finalmente llegar al océano. Aquí, el agua puede cambiar de estado líquido a vapor por la acción del sol y puede regresar por medio del viento a la superficie terrestre para nuevamente presentarse el proceso de precipitación.

Esta dinámica se ve afectada por distintas actividades humanas. En primer lugar, el flujo de los cuerpos de agua disminuye debido a la demanda de agua potable para el consumo humano. Por otro parte, la urbanización modifica las características del suelo preexistente, disminuyendo la infiltración y la interceptación natural mientras se aumenta el volumen de escorrentía. Así mismo, el agua residual generada y la contaminación de la escorrentía por la urbanización disminuyen la calidad del agua del ciclo natural. Por todo esto, el ciclo hidrológico se ve alterado en cuanto a cantidad y calidad de agua. Es por esto que cuando se quiere minimizar la disruptción del ciclo hidrológico por parte de una edificación, es necesario entender el funcionamiento natural de la cuenca de ese lugar en particular y las condiciones que se verán afectadas por la intervención del proyecto, para tratar de replicar estos flujos naturales.



# 7

## PASOS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE



Con el fin de reducir los impactos generados por la disrupción del ciclo hidrológico y contribuir con la construcción de un futuro regenerativo y resiliente, es necesario entender claramente el contexto del proyecto y tener claridad y consenso sobre las metas que se quieren lograr. También se debe reducir la demanda de agua, se debe buscar respetar el ciclo hidrológico, cuando sea posible, por medio de la réplica de los flujos naturales de agua y de potenciar la recarga de acuíferos, se debe buscar el uso de fuentes alternativas de agua y se debe reducir la carga contaminante de las aguas de vertidos del proyecto. Para lograr cada uno de estos puntos se establecen los pasos que se describen en esta sección.

### PASO 1

#### Establecer las metas del proyecto y conocer las condiciones de contexto

El objetivo de este primer paso es definir los requerimientos y metas del proyecto frente al recurso hídrico. Para establecer las metas del proyecto, es importante conocer la normativa o estándares aplicables, lograr un entendimiento del sitio donde se desarrollará el proyecto, y entender las condiciones y requerimientos propios, integrando las necesidades que debe cubrir el sistema.

En primer lugar, el proyecto debe entender la normativa aplicable. Como referencia, el [Apéndice A: Marco normativo](#) describe la normativa existente al momento de expedición de esta guía, sin buscar ser exhaustivo. Cada proyecto debe compilar la normativa aplicable integrando la de orden nacional y orden local de acuerdo a la ubicación del proyecto o contexto del entorno. Asimismo, el proyecto debe definir si existen regulaciones o guías voluntarias que se quieran cumplir tales como normas técnicas, sistemas de certificación u otros estándares. De esta forma se establecen unos primeros requerimientos.



Para lograr el entendimiento completo del sitio, una vez seleccionada la ubicación del proyecto, se debe tener claridad de las siguientes variables, usando la mejor información disponible, teniendo en cuenta la temporalidad y la escala de las mismas:

- **Variables hidrológicas:** se debe recolectar información de precipitación, evaporación y evapotranspiración.
- **Variables meteorológicas y climáticas:** asociadas a la temperatura, la humedad y la radiación.
- **Condiciones del suelo:** se debe tener en consideración la topografía y la permeabilidad del suelo y del subsuelo, así como el nivel freático.
- **Disponibilidad de servicios:** se debe conocer si el proyecto cuenta con conexión al acueducto y alcantarillado. En algunas ocasiones se deben buscar fuentes superficiales y/o subterráneas, tanto para abastecer la demanda como para descargar las aguas residuales de los proyectos, teniendo en cuenta la normatividad aplicable de captación y vertimiento.

Para entender las condiciones del proyecto y requerimientos desde la demanda se deben entender las siguientes variables, las cuales pueden cambiar a lo largo del desarrollo del proyecto:

- **Tipología:** Se refiere al uso o usos que va a tener el edificio en su operación, como son residencial, comercial, hotelero, industrial, de oficinas, mixto, entre otros. En algunos casos incluso es posible definir la actividad dentro de un edificio de cualquier tipología como puede ser un hotel de negocios o un hotel vacacional.
- **Ocupación estimada:** El número y tipo de ocupante es fundamental para conocer la demanda de agua que requiere el proyecto en su operación. El tipo de ocupante se refiere a la probabilidad en el tiempo de estancia de este en el proyecto, por ejemplo, un residente o un visitante.
- **Áreas estimadas:** Se puede acceder a información de la distribución arquitectónica general y posible del proyecto para tener en cuenta las áreas disponibles para el diseño de los sistemas. En este sentido, es importante conocer áreas de cubierta, áreas duras y las áreas disponibles o previstas para las estructuras de almacenamiento de agua del proyecto.

El entendimiento de estas variables permite obtener información de las necesidades de agua en el proyecto, evaluar la viabilidad de las estrategias de sostenibilidad y las fuentes de abastecimiento y tomar decisiones en los siguientes pasos.

#### Ejemplo 1. Meta establecida para un proyecto

*Un proyecto ha definido como meta que debe lograr una reducción del consumo de agua potable en un 30% respecto a la línea base estimada en la normativa. Para esto debe estudiar alternativas eficientes en los aparatos sanitarios, sistema de riego y aseo, y evaluar fuentes de abastecimiento para usos no potables. De acuerdo con las condiciones del sitio, estudiará el reúso de agua lluvia como primera alternativa de fuente no potable. Adicionalmente, se tiene como meta que el proyecto no genere impactos negativos al entorno asociados al aumento de escorrentía en momentos de lluvia, por lo que se debe reducir la huella de áreas impermeables e incluir en el diseño sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS).*



## PASO 2

### Implementar estrategias para reducción de cargas

En este segundo paso, los proyectos deben hacerse las siguientes preguntas:

- ¿Cómo reducir la cantidad de agua requerida en el proyecto?
- ¿Cómo reducir la generación de aguas residuales?

Las cargas dentro de una edificación corresponden a los diferentes consumos de agua por aparatos sanitarios, por riego y otros usos específicos de acuerdo a las necesidades y metas definidas en el Paso 1.

Para empezar, se debe estimar la demanda requerida por el proyecto para cada una de las cargas y definir las estrategias de sostenibilidad que se pueden usar para minimizar el consumo de agua.

#### Ejemplo 2. Estimación en la reducción de cargas

*Un proyecto residencial necesita garantizar el servicio continuo de agua para baños, lavanderías, cocinas y áreas verdes. Para reducir cargas, se estudiará la especificación de aparatos sanitarios ahorradores. Adicional a esto se debe pensar en disminuir los consumos del exterior de la edificación, con el uso de superficies que no requieran limpieza constante, el uso de especies nativas o adaptadas en el paisajismo que demanden poca agua de riego, y sistemas de riego eficientes como los sistemas de goteo con sensores de humedad.*



## Reducción de cargas en aparatos sanitarios



Es necesario diferenciar los aparatos de descarga y los aparatos de flujo del proyecto. Esto es útil porque cada uno de estos aparatos potencialmente pueden ser abastecido por fuentes diferentes.

Se refiere al consumo asociado a los baños y batería de baños, cocinas y aseos correspondiente a los aparatos y accesorios sanitarios.

Los **aparatos de descarga** se refieren a los sanitarios, mingitorios u orinales, en los cuales el consumo está dado por la cantidad de usos o descargas.

Los **aparatos de flujo** se refieren a las duchas, lavamanos, lavaplatos y otra grifería o llave, en los cuales el consumo está dado por la duración del uso.

Tabla 1. Comparación de características de aparatos de descarga y de flujo

Característica	Aparatos de descarga	Aparatos de flujo
Unidad de medición	Volumen por descarga. Usualmente litros por descarga (Lpd).	Caudal, en volumen sobre tiempo. Usualmente litros por minuto (Lpm) dependiendo de la presión.
Fuente de abastecimiento	Podría ser no potable al no tener contacto directo con el usuario.	Potable al tener contacto directo con el usuario, con algunas excepciones como griferías de aseo.
Tipo de vertido	Cuenta con alta materia fecal, es agua negra o servida.	Cuenta con alto contenido de detergentes, jabones, pelo e incluso residuos de alimentos. Puede ser agua gris.
Ejemplos	Sanitarios y orinales.	Grifos para lavamanos, lavaplatos y duchas.

## Estrategias de sostenibilidad para aparatos sanitarios

La principal estrategia asociada a la reducción de la demanda desde los aparatos sanitarios es la selección de aparatos ahorradores, de los cuales es necesario considerar los consumos para aparatos de descarga y flujo, la viabilidad y efectividad en la prestación del servicio, y la interacción con otros sistemas y disciplinas.

### En los aparatos de descarga se recomienda tener en cuenta:

En el mercado hay diferentes opciones que se pueden considerar para reducir la carga: sanitarios eficientes de 4,8 Lpd o ultra eficientes de 3,8 Lpd, sanitarios de asistencia de vacío o sanitarios de compostaje.



Es importante mantener el correcto desempeño de los aparatos sanitarios en el tiempo, para lo que es necesario considerar las recomendaciones del fabricante, hacer calibraciones periódicas y educar al usuario en su funcionamiento.

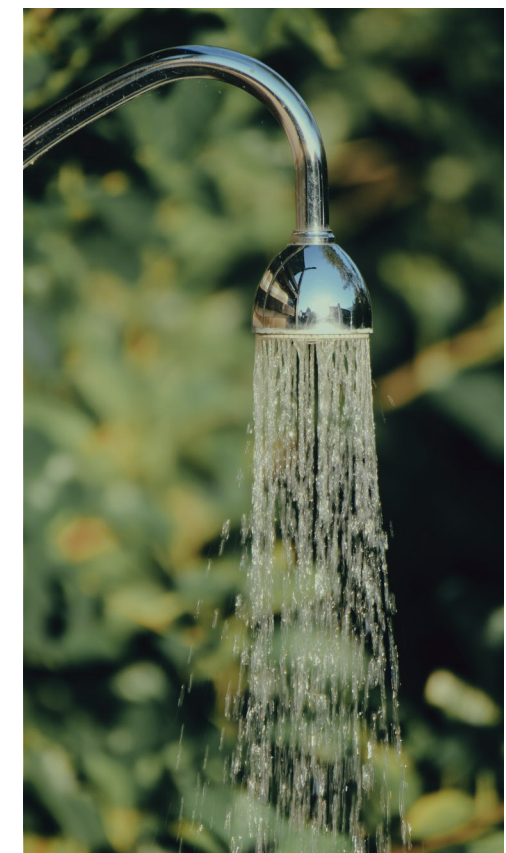
- Los sanitarios de doble descarga pueden ser eficientes si son usados correctamente y están calibrados. Para esto es necesario que sean visibles las instrucciones de uso indicando cómo hacer descarga sencilla o de líquidos, y descarga completa o de sólidos.
- Se debe verificar que el fluxómetro y la taza, cuando se compran de manera fraccionada, sean equivalentes en caudal.
- Se pueden considerar orinales eficientes de 1 Lpd o ultra eficientes de 0,5 Lpd u orinales sin agua.
- Si el aparato propuesto tiene un funcionamiento diferente al tradicional, como un orinal sin agua, es importante capacitar tanto al usuario como al personal de limpieza del mismo.
- Los sanitarios de asistencia vacío requieren de presiones mínimas que se deben mantener para su correcto funcionamiento.



Foto 1. Orinal sin agua DOMOi - Bolívar - Davivienda. Créditos Davivienda, Setri Sustentabilidad SAS.

### En los aparatos de flujo se recomienda tener en cuenta:

- En el proceso de selección de griferías y duchas, es importante comparar el caudal (Lpm) a la misma presión para estimar la reducción en el consumo, ver [Metodología de cálculo](#).
- Se considera que una ducha es de bajo consumo cuando se encuentran por debajo de 9,5 Lpm (lectura a 80 PSI).
- En el caso de las llaves de lavamanos, lavaplatos y de servicio, estas pueden ser de bajo consumo y/o incorporar en el flujo un accesorio para reducir su consumo como el aireador de 2 Lpm (lectura a 60 PSI).
- Para eliminar el desperdicio en los aparatos de flujo es útil utilizar cierres automáticos tipo sensor o push, donde la calibración del cierre sea consistente con el tipo de uso del aparato. Para usos comerciales se recomienda un cierre automático de 6 segundos en los lavamanos de push.
- Los elementos de autocontrol como push y sensores en los aparatos de flujo se deben calibrar dependiendo de la intensidad del uso, con esto se garantiza que los tiempos estimados se mantengan en el tiempo o se ajusten según sea necesario por los usos.
- En las actividades de limpieza de sensores es importante tener precauciones para no deteriorar su funcionamiento por rayones o desajustes.





### En cuanto a la viabilidad y efectividad en el suministro de agua para aparatos sanitarios se recomienda tener en cuenta:

- Para el proceso de decisión en la selección de aparatos sanitarios y accesorios ahorradores es fundamental considerar la necesidad técnica del proyecto en lo que tiene que ver con el diseño, instalación, funcionamiento, mantenimiento y correcto desempeño en el tiempo.
- Incluir en el sistema de bombeo los variadores de velocidad para garantizar el caudal de diseño en los distintos aparatos del proyecto, evitar golpes de ariete y reducir el consumo energético.
- Un aparato, equipo o accesorio sanitario que reduzca el consumo de agua pero que no cumpla con la necesidad del usuario, no es eficiente. Al cabo del tiempo éste se cambiará o adaptará para cumplir esa necesidad, aunque esto implique aumentar su consumo de agua. Ante una duda sobre su correcto funcionamiento o su capacidad de satisfacer la necesidad de uso, se recomienda:
  - Solicitar al proveedor una prueba de funcionamiento del equipo, o instalarlo de prueba simulando las condiciones en las que operaría.
  - Visitar proyectos que hayan instalado ese aparato, equipo o accesorio y consultar con la administración sobre su correcto funcionamiento y la recepción de quejas sobre el mismo.
  - Buscar elementos con algún sello de verificación de tercera parte que garanticen la calidad y su ahorro en el consumo de agua. Un ejemplo, el sello WaterSense o Sello Ambiental Colombiano, cuando aplican.

### En cuanto a la interacción con otros sistemas se recomienda:

- Verificar si las dimensiones del elemento son compatibles con la disponibilidad del espacio para su correcto uso y mantenimiento.
- Asegurar que se están considerando necesidades especiales por tipo de uso y de población con movilidad reducida e infantil.
- Verificar si el funcionamiento del elemento puede alterar el confort acústico, como por ejemplo en el caso de los sanitarios de vacío.
- Revisar si se requieren puntos eléctricos en los aparatos sanitarios. En aparatos sanitarios de uso público se recomienda utilizar tecnología de sensor para evitar contacto directo con los aparatos y así disminuir los riesgos en salud e higiene.



Para lograr una eficiencia en el consumo, se debe reducir el consumo de agua garantizando como mínimo la misma calidad del servicio, incluso mejorarlo si es posible, e incluir estrategias para evitar el desperdicio.



- Verificar la interacción entre el sistema de calentamiento de agua, su red y los aparatos de flujo. Una gran fuente de desperdicio en el consumo es el tiempo de espera para el calentamiento del agua a los niveles de confort de los usuarios.
- De acuerdo a los patrones de uso, se puede ajustar la temperatura del agua caliente a una temperatura apta para uso humano (<35 °C) en las duchas y lavamanos, para evitar el desperdicio de la mezcla,
- Asegurar un diseño de red de presiones homogéneas. Se recomienda instalar reguladores de presión en edificios de más de cinco pisos, por lo menos cada dos pisos.
- En caso de contar con caldera centralizada para el agua caliente, instalar los reguladores de presión desde el primer piso para garantizar la estabilización de la temperatura.
- Si existen requerimientos y metas de medición y submedición de consumos de agua, así como las señales que se van a controlar y monitorear en un sistema centralizado de control en el proyecto.

En general, se deben ejecutar pruebas y aforos de todos los aparatos hidrosanitarios por lo menos una vez al año. Para el caso de medidas de caudal de los fluxómetros, se recomienda hacerla cada 6 meses. Es importante contar con el manual y plan de mantenimiento de los equipos instalados para realizar estas actividades de manera adecuada. Estos deberán contar con la siguiente información: número de elementos del sistema que requieren mantenimiento, periodicidad y encargado del mantenimiento, materiales e insumos necesarios, y procedimiento y actividades del mantenimiento. Estos últimos podrán ser definidos por el fabricante y/o por análisis de fallas y/o podrán ser definidas por los expertos en mantenimiento. Las frecuencias de mantenimiento pueden variar de acuerdo con la calidad del agua de suministro. Por ejemplo, los aireadores de griferías se deberán revisar anualmente para garantizar que el flujo no sea reducido por calcificación.



## Metodología de cálculo para el ahorro de agua en aparatos sanitarios

A continuación se define la metodología para estimar los consumos de agua en aparatos sanitarios y el ahorro por las estrategias de sostenibilidad.

### 1. Definición de usos diarios

Para definir los usos diarios es necesario tener claridad de la tipología del proyecto y del tipo de ocupante esperado (ver [Variables del proyecto](#)). Con esta información se estiman los patrones de uso habituales por tiempo de permanencia del usuario en el proyecto. En la tabla a continuación, se encuentran la cantidad de usos por tiempo de permanencia, considerando la probabilidad de uso del aparato. Si hay condiciones del proyecto que justifiquen un valor diferente de usos, se puede ajustar.

Tabla 2. Usos probables por aparato sanitario de acuerdo a permanencia del usuario

Usos probables al día	>12 horas	8 horas	3 horas	1 horas
Sanitario*	5 usos	3 usos	0,5 usos	0,3 usos
Lavamanos	5 usos	0,5 usos	0,5 usos 0,5 minuto cada uso	0,3 usos 0,5 minuto cada uso
Ducha	1 uso 8 minutos cada uso	0,1 uso 5 minutos cada uso	0	0
Lavaplatos	3 usos 1 minuto cada uso	1 uso 0,25 minuto cada uso	0	0

\*Si el proyecto cuenta con orinales, la cantidad de usos se debe repartir en la probabilidad de descargas líquidas para el orinal y sólidas para el sanitario, únicamente para la población que tenga acceso al orinal.

#### Ejemplo 3. Estimación de los usos de sanitario diarios

Un hotel vacacional tendría una población tipo huésped (>12 horas), una tipo empleado (8 horas), y una población tipo visitante para el centro de convenciones (3 horas). En este caso el hotel tendría una cantidad de usos diarios de descarga en sanitarios de 5 por huésped, 3 por empleado y 0,5 por visitante.

#### Ejemplo 4. Ajuste de los usos de ducha diarios

Un local donde funcionará un gimnasio podría estimar que sus clientes permanecerán de 1 a 3 horas en las instalaciones, sin embargo, es probable que la mitad de la población use la ducha. En ese caso el uso de ducha se ajustaría a 0,5 por cliente.



### 2. Caracterización de aparatos sanitarios

El proyecto define qué tipo de aparatos sanitarios instalará de acuerdo a los requerimientos técnicos. En el caso en el que todos los aparatos sanitarios sean los mismos, no es necesario hacer esta caracterización.

### 3. Asignación de usuarios a los aparatos sanitarios

Cada aparato sanitario debe contar con una cantidad de usuarios que pueden acceder al mismo, de tal forma que todos los aparatos tengan un uso, y que todos los usuarios se estén contabilizando, para esto se asignan usuarios a los aparatos sanitarios. Esta asignación puede variar por la configuración del proyecto y por el acceso permitido al usuario.



La asignación de usuarios a los aparatos sanitarios no implica que todos los usuarios utilicen siempre los aparatos sanitarios. Solo se tiene en cuenta la posibilidad de acceder al mismo. La probabilidad de uso ya se tiene contemplada en el Paso 1: Estimación de usos diarios

#### Ejemplo 5. Ajuste de los usos de ducha diarios

Un centro comercial hace la siguiente caracterización de aparatos sanitarios con la asignación de usuarios estimada para su operación:

Instalación	Caracterización de aparatos sanitarios		Asignación de usuarios
	Descarga	Flujo	
Baño tipo 1	Sanitario fluxómetro	Llave lavamanos	45% clientes, 30% empleados
Baño tipo 2	Sanitario fluxómetro Orinal fluxómetro	Llave lavamanos	45% clientes, 30% empleados
Baño familiar	Sanitario gravedad infantil	Llave lavamanos	10% clientes
Baños empleados	Sanitario gravedad	Llave lavamanos	30% clientes
Vestieres	-	Ducha	100% empleados
Cafetería	-	Llave lavamanos	100% empleados
Locales anclas y semianclas	Pueden instalar sanitario de gravedad	Pueden instalar llave lavamanos	10% empleados



#### 4. Estimación de demanda línea base

La línea base es el punto de partida o de referencia sobre el cual se calculan los ahorros que se obtienen al implementar las estrategias de sostenibilidad para aparatos sanitarios. La línea base es entonces el consumo que se tendría si no se incluye ninguna estrategia de sostenibilidad. Para estimar la demanda en la línea base se debe primero evaluar si a nivel normativo existe un consumo que el aparato no debe superar o si se buscará cumplir con alguna guía voluntaria. En esos casos, se deben usar los consumos definidos en esta norma o guía, según corresponda. Revisar Paso 1. Establecer las metas del proyecto y conocer las condiciones de contexto.

Para calcular la **demanda por aparatos de descarga** (inodoros y orinales) para la línea base, se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Demanda Descarga diaria por aparato} = \text{No.Usuarios} \times \text{No.Usos diarios} \times \text{ConsumoDescarga[lpd]}$$

*Ecuación 1*

Esta fórmula se aplica a todos los aparatos de descarga que tenga el proyecto para luego sumar el total. Dependiendo del tipo de proyecto, este valor se puede multiplicar por los días del año que este tiene operación para obtener la demanda para descarga anual.

$$\text{Demanda Descarga anual} = \text{Demanda Descarga total diaria} \times \text{No.Días de operación al año}$$

*Ecuación 2*

Para calcular la **demanda por aparatos de flujo** se debe tener en cuenta el tiempo de duración estimado de uso. Se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Demanda flujo diario} = \text{No.Usuarios} \times \text{No.Usos diarios} \times \text{Consumo (lpm)} \times \text{Duración de uso (min)}$$

*Ecuación 3*

Esta fórmula se aplica a todos los aparatos de flujo que tenga el proyecto para luego sumar el total. Dependiendo del tipo de proyecto, este valor se puede multiplicar por los días del año que este tiene operación para obtener la demanda para flujo anual.

$$\text{Demanda Flujo año} = \text{Demanda Flujo total día} \times \text{No.Días de operación al año}$$

*Ecuación 4*

Finalmente se pueden sumar los resultados de demanda por descarga y flujo para tener la demanda total anual en la línea base.

$$\text{Demanda caso base anual} = \text{Demanda Flujo anual} + \text{Demanda descarga anual}$$

*Ecuación 5*

Ejemplo 6. Caracterización de aparatos sanitarios y su asignación de usuarios

Una unidad residencial, con 4 usuarios residentes (>12 horas) tendría la siguiente demanda línea base, tomando como base los siguientes consumo:

Aparato sanitario	Consumo de referencia para la línea base
Sanitario	6 lpd
Lavamanos residencial	8,3 lpm a 60 PSI
Lavaplatos residencial	8,3 lpm a 60 PSI
Ducha residencial	9,5 lpm a 80 PSI

$$\text{Demanda Descarga diaria por sanitario} = (4 \text{ residentes} \times 5 \text{ usos/día} \times 6 \text{ lpd}) = 120 \text{ litros/día}$$

$$\text{Demanda flujo diario por lavamanos} = (4 \text{ residentes} \times 5 \text{ usos/día} \times 8,3 \text{ lpm} \times 1 \text{ minuto}) = 166 \text{ litros/día}$$

$$\text{Demanda flujo diario por ducha} = (4 \text{ residentes} \times 1 \text{ uso/día} \times 9,5 \text{ lpm} \times 8 \text{ minutos}) = 304 \text{ litros/día}$$

$$\text{Demanda flujo diario por lavaplatos} = (4 \text{ residentes} \times 3 \text{ uso/día} \times 8,3 \text{ lpm} \times 1 \text{ minutos}) = 99,6 \text{ litros/día}$$

$$\text{Total demanda diaria} = 689,6 \text{ litros/día}$$



Para los aparatos de flujo, el consumo del aparato sanitario propuesto debe compararse a la misma presión definida para el caso base. Se debe consultar la ficha técnica del aparato y validar el caudal promedio para la presión del cálculo. Esta información se encuentra frecuentemente indicada en un diagrama o gráfica de caudales y/o en una tabla con los caudales promedio a diferentes presiones.

#### 5. Estimación demanda propuesta con estrategias de sostenibilidad

De acuerdo con las estrategias de sostenibilidad propuestas se hacen los mismos cálculos del punto 4: Estimación de demanda línea base pero cambiando los consumos de los aparatos de la línea base por los consumos de los aparatos eficientes que esté considerando el proyecto.

#### 6. Cálculo de ahorro por aparatos sanitarios propuestos sostenibilidad

El cálculo de ahorro es útil para determinar la eficiencia en la selección de aparatos sanitarios, e incluso el periodo de retorno en el caso de inversiones adicionales por especificación de aparatos. El ahorro en el consumo de agua se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\text{Ahorro} = \left( 1 - \frac{(\text{Demanda propuesta})}{(\text{Demanda línea de base})} \right) \times 100\%$$

*Ecuación 6*



### Ejemplo 7. Estimación del ahorro por aparatos sanitarios propuestos

Una unidad residencial de 4 residentes, está estudiando incluir como estrategia de sostenibilidad el uso de sanitarios eficientes de 4,8 lpd, para el cuál se tendría un ahorro del 20% respecto a un sanitario de línea base de 6 lpd.

*Demanda Descarga diaria por sanitario=(4 residentes x 5 usos/día x 6 lpd)  
=120 litros/día*

*Demanda flujo diario por lavamanos=(4 residentes x 5 usos/día x 8,3 lpm x 1 minuto)  
=166 litros/día*

$$\text{Ahorro} = \left( 1 - \frac{(96 \text{ litros/día})}{(120 \text{ litros/día})} \right) \times 100\%$$

**Ahorro = 20%**

Para calcular el periodo de retorno en el caso de tener inversiones adicionales por especificación de aparatos eficientes, se debe usar la tarifa del servicio de abastecimiento de agua al proyecto y calcular el costo del servicio con el consumo base y con el consumo propuesto. Se recomienda tener en cuenta también la tarifa por la gestión del agua residual ya que la reducción en la demanda también implica una reducción en la generación de aguas residuales.

## Reducción de cargas para riego en paisajismo

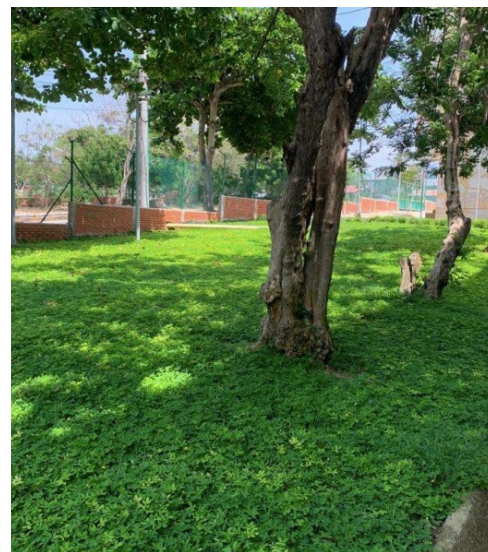


Foto 3. Especies nativas en jardines de Casa de Estudio Alfredo Correa de Andrés. Créditos Dirección de Comunicaciones y Relaciones Publicas Uninorte.

Los proyectos que cuenten con áreas verdes interiores y exteriores, horizontales y verticales, deben considerar las cargas del riego para paisajismo. En estos se deberá considerar el tipo de especies y de jardines, las variables climáticas y el sistema de riego.

### Estrategias de sostenibilidad para riego

Definida la necesidad de riego, es importante involucrar desde etapas tempranas al diseñador paisajista y considerar la especificación de especies vegetales y tipo de jardines, así como el sistema de riego, ya que estos contribuirán con la reducción de la demanda y con el aporte del proyecto a la rehabilitación del hábitat.

#### En la especificación de especies vegetales se recomienda:

- Seleccionar plantas nativas o adaptadas para el paisajismo, ya que estas no van a requerir agua o van a requerir de muy poca agua debido a su adaptabilidad al ciclo hidrológico y a las condiciones locales.

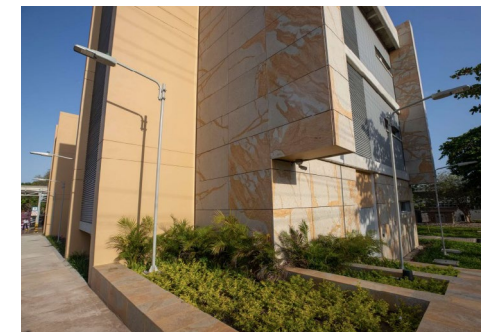


Foto 3. Especies nativas en jardines de Casa de Estudio Alfredo Correa de Andrés. Créditos Dirección de Comunicaciones y Relaciones Publicas Uninorte.



El Xeriscaping o jardinería xerofítica es una práctica para tener jardines con un menor consumo de agua, a partir de siete principios: 1) Planificar y diseñar para un uso inteligente del agua; 2) Mejorar la calidad del suelo; 3) Reducir el césped y otras plantas que tienen un alto requerimiento de agua; 4) Elegir las plantas adecuadas; 5) Regar de forma eficiente; 6) Cubrir con mantillo o cubiertas vegetales para conservar el agua y disminuir el crecimiento de la maleza; 7) Mantener el paisaje.



En el diseño de un paisajismo es recomendable segmentar las zonas según el requerimiento de agua de las especies. De este modo, no se tiene que asignar un riego alto en todo el paisajismo por algunas especies que tengan alto consumo.

- Revisar la información de las cartillas técnicas entregadas por el diseñador paisajista sobre las especies de plantas a emplear, y las frecuencias y volúmenes de riego. En caso de no tenerlas, se pueden utilizar cartillas técnicas de otras entidades, como es el caso de entidades como el Jardín Botánico de Bogotá.

- Si no se tiene acceso a cartillas técnicas o a información del consumo de agua de las especies de plantas, se debe utilizar todo el volumen aprovechable de diferentes tipos de agua (como por ejemplo el agua lluvia) para el riego de las especies de planta, garantizando como mínimo 2 litros/m2 diarios con base a la densidad del jardín (cantidad de especies por metro cuadrado).

#### En el diseño de jardines se recomienda:

- Tener pendientes suaves (entre el 1 y el 1,5%) y suelo permeable en las áreas de paisajismo para permitir que el agua no salga como escorrentía y pueda ser aprovechada por las especies vegetales.
- Utilizar mantillo o mulching sobre el suelo del paisajismo para reducir las pérdidas por evaporación del agua.
- Realizar hidro zonificación, que consiste en agrupar en áreas específicas a las especies que demanden una cantidad de agua similar para hacer más eficiente el riego.

#### En el sistema de riego se recomienda:

- Utilizar un sistema de riego eficiente, idealmente con plantas de poco consumo, para atender la demanda calculada. Se debe considerar que a pesar de que algunas plantas no requieren agua en su etapa adulta, estas sí pueden requerir de riego adicional para su crecimiento.
- En caso de contar con control horario para el sistema de riego, este se debe complementar con sensores que tengan en cuenta las condiciones climáticas y la humedad del suelo para identificar cuando es necesario realizar el riego. Con estas medidas se puede lograr una reducción aproximada del 15% en el consumo de agua.
- Tanto el control horario como el sensor de humedad deben tener revisiones y mantenimiento periódico, según las recomendaciones del fabricante.





- Para especies de paisajismo diferentes al césped, se recomienda utilizar el riego por goteo o microgoteo ya que es más eficiente para distribuir agua a las raíces. Con esta medida se puede reducir entre el 20% y el 50% del consumo de agua frente a sistemas tradicionales ya que se reducen las pérdidas por escorrentía y por acción del viento.
- Para el riego de césped por aspersión se recomienda utilizar aspersores de cabeza eficiente con los que se puede lograr un ahorro del 30% frente a los rociadores tradicionales. Estos distribuyen el agua en gotas de mayor tamaño disminuyendo la pérdida de agua por el viento y aumentando la uniformidad del riego.
- Todo sistema de riego debe contar con una verificación periódica de funcionamiento y una identificación de posibles fallas o fugas en la red o fallas en los motores giratorios o bombas.

## Metodología de cálculo para el ahorro de agua en paisajismo

El cálculo para el ahorro de agua en paisajismo la puede definir el diseñador de paisajismo. A continuación se encuentra una metodología sugerida para estimar el consumo de agua para riego y la optimización del diseño. También se pueden utilizar cálculos de normativas o certificaciones voluntarias o directamente el calculador de la EPA<sup>4 5</sup> para estimar la demanda de agua requerida por las plantas.

### 1. Requerimiento de agua de referencia

La línea base necesaria para la irrigación de un paisajismo se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen línea de referencia (m}^3\text{)} = \frac{(\text{Área [m}^2\text{]} \times \text{ET}_0 \text{ [mm/mes]})}{1000}$$

*Ecuación 7*

En donde la variable ( $ET_0$ ) corresponde a la evapotranspiración de referencia del mes de menor precipitación.

### 2. Asignación de agua para paisajismo base

Para los efectos del método de la EPA, se debe dar una asignación de agua para el paisajismo base, el cual corresponde a la cantidad de agua suplementaria requerida para el paisaje. La asignación es el 70 % de la cantidad de agua de referencia que se necesitaría si todo el paisaje estuviera cubierto por una extensión bien mantenida de césped verde de altura promedio. En este cálculo se asume que todas las plantas requerirán cierta cantidad de agua adicional.

$$\text{Asignación de agua} = 70\% \times \text{Volumen línea de referencia}$$

*Ecuación 8*

<sup>4</sup> Environmental Protection Agency (EPA) WaterSense Water Budget Tool. <https://www.epa.gov/watersense/water-budget-tool>

<sup>5</sup> Guía para el calculador de la EPA: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-01/documents/ws-homes-water-budget-approach.pdf>

### 3. Requerimiento de agua para paisajismo propuesto con estrategias de sostenibilidad

Para la estimación del requerimiento de agua para paisajismo propuesto se usa la Ecuación 7, afectando el  $ET_0$  por las variables propias del diseño, tales como las especies, la densidad del jardín y el microclima que lo rodea. Para hacer esto se emplea la siguiente ecuación:

$$ET_L = ET_0 \times K_{mc} \times K_d$$

*Ecuación 9*

La variable de Evapotranspiración del paisajismo ( $ET_L$ ), corresponde a la cantidad de agua necesaria para el paisajismo de referencia ( $ET_0$ ), teniendo en cuenta las necesidades por especie ( $K_s$ ), microclima ( $K_{mc}$ ) y densidad ( $K_d$ ). Esta ecuación se debe aplicar para cada hidrozona o tipo de jardín del proyecto. La siguiente tabla es una referencia de los factores de especie, densidad y microclima para condición baja, promedio y alta, y para diversos tipos de vegetación:

El  $K_s$  se determina por la necesidad de agua del jardín, el  $K_d$  se determina por la configuración del jardín (qué tan cerca se agrupan las plantas), y el  $K_{md}$  se determina por las condiciones en el lugar del jardín, como el sol, el viento y el efecto isla de calor.

Tabla 3. Factores de paisajismo relativos. Adaptado de WaterSense® Water Budget Approach

Tipo de vegetación	Factor de especie ( $K_s$ )			Factor de densidad ( $K_d$ )			Factor de microclima ( $K_{md}$ )		
	Bajo	Promedio	Alto	Bajo	Promedio	Alto	Bajo	Promedio	Alto
Árboles	0,2	0,5	0,9	0,5	1,0	1,3	0,5	1,0	1,4
Arbustos	0,2	0,5	0,7	0,5	1,0	1,1	0,5	1,0	1,3
Cobertura	0,2	0,5	0,7	0,5	1,0	1,1	0,5	1,0	1,2
Mezcla de árboles, arbustos y cobertura	0,2	0,5	0,9	0,6	1,1	1,3	0,5	1,0	1,4
Césped	0,6	0,7	0,8	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,2



La zona verde de un proyecto que se encuentra rodeando un parqueadero con piso en asfalto, tendría un factor de microclima ( $K_{md}$ ) alto.

### 4. Ajuste del volumen requerido para el paisajismo propuesto por el sistema de riego

Tomando las variables del clima y las especies se puede calcular el volumen del requerimiento de agua para el paisajismo propuesto, con la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen Paisajismo} = \text{Área [m}^2\text{]} \times \frac{ET_L \text{ [mm/mes]}}{EI} \times CE$$

*Ecuación 10*



La variable de Eficiencia de Irrigación (EI) determina la cantidad de agua que se pierde por el sistema de riego utilizado, mientras que la variable de eficiencia de control (CE) corresponde al porcentaje de reducción en el consumo debido al uso de sensores o sistemas de control de riego, los cuales reducen en general el 15% del consumo (CE=85%). La siguiente tabla es una referencia de los valores para la variable de eficiencia de irrigación según su tipo:

Tabla 4. Eficiencia de irrigación por tipo de riego. Adaptado de WaterSense® Water Budget Approach

Tipo de riego	Eficiencia de irrigación EI	
	Baja	Alta
Aspersión fija	0,4	0,6
Aspersión de impacto y microaspersión	0,5	0,7
Rotores	0,6	0,8
Rotores de chorro múltiple	0,6	0,8
Bajo volumen y fuente fija (por ejemplo, por goteo)	0,7	0,9

### 5. Calcular el ahorro por paisajismo

El cálculo de ahorro es útil para determinar la eficiencia en la selección del paisajismo, e incluso el periodo de retorno en el caso de requerir inversiones adicionales por especificación del sistema. El ahorro en el consumo de agua se calcula utilizando la Ecuación 6.

Ejemplo 8. Estimación de ahorro de agua por paisajismo propuesto

Un proyecto inmobiliario contará con un paisajismo de 1.000 m<sup>2</sup>. Para definir el consumo de línea base, la zona donde está ubicado el proyecto cuenta con un ETo de 76,2 mm/mes, por lo que el volumen de referencia será de 76,2 m<sup>3</sup>/mes. De acuerdo con el método de la EPA, la asignación de agua suplementaria para el paisajismo base sería el 70% de 76,2 m<sup>3</sup>/mes, que corresponde a 53,34 m<sup>3</sup>/mes.

Dentro de las estrategias de sostenibilidad planteadas para el proyecto se contará con especies mixtas adaptadas, con una densidad media y un microclima promedio al estar rodeado de andenes. En este caso se estiman los siguientes factores:

$$K_s = 0,2$$

$$K_d = 1,1$$

$$K_{mc} = 1,0$$

Al contar con una ETo de 76,2 mm/mes, el ETL será de 16,8 mm/mes.

Adicionalmente, el paisajismo propuesto contará con un sistema de goteo y un sensor de lluvia como estrategias para eficiencia de irrigación y controles, por lo que se tendrían los valores EI = 0,7; CE = 85%, y el volumen de paisajismo propuesto ajustado será de 20,4 m<sup>3</sup>/mes.

De acuerdo a los consumos estimados de línea base y de paisajismo y riego propuesto, el ahorro logrado por el proyecto corresponde a:

$$\text{Ahorro} = \left( 1 - \frac{20,4 \text{ m}^3/\text{mes}}{53,34 \text{ m}^3/\text{mes}} \right) \times 100\%$$

**Ahorro = 62%**



## Reducción de cargas para otros usos específicos

Existen otros consumos de agua a nivel de las edificaciones que pueden variar significativamente de acuerdo al tipo del proyecto. Por ejemplo, en proyectos industriales, médicos o recreativos estos otros consumos pueden ser mayores que los asociados a aparatos sanitarios o riego. En todos los casos es esencial evaluar cómo reducir los consumos para lograr los objetivos de sostenibilidad del proyecto.

### Estrategias de sostenibilidad para otros usos

A continuación se enuncian estrategias de sostenibilidad para el uso de electrodomésticos, equipos de aire acondicionado y red contra incendio. Para usos diferentes a estos es necesario que el proyecto consulte específicamente con diseñadores y proveedores especializados sobre las opciones de menor consumo.

#### Para el uso de agua en electrodomésticos se recomienda:

- Especificar electrodomésticos que cuenten con sellos de verificación de eficiencia, como Energy Star, Sello Ambiental Colombiano o RETIQ en niveles A o B.

#### Para el uso de agua en equipos de aire acondicionado se recomienda:

- En caso de utilizar torres de enfriamiento, se deben optimizar los ciclos al aumentar el número de usos del agua antes de realizar su cambio.
- Para sistemas como torres de enfriamiento o lavadoras de aire, realizar inspecciones visuales de verificación de niveles de agua para analizar si hay presencia de corrosión, suciedad general, algas, lodos o incrustaciones.
- Verificar el estado de las bombas para que haya buena circulación y no haya proliferación de hongos y bacterias.



- Llevar a cabo una inspección de filtros, material de relleno y paneles de enfriamiento. Si es una torre revisar material de relleno, y si es una lavadora de aire revisar el CellDeck para el intercambio de calor.
- Se debe hacer un control de incrustaciones y microorganismos, de sólidos disueltos en el agua, de sólidos en suspensión y de pH. Para cada uno de estos controles, se utilizan tratamientos químicos.
- La inspección visual debe hacerse cada mes y el tratamiento químico se puede hacer cada 2 o 4 meses, dependiendo del lugar del proyecto.
- Es necesario contar con un plan de control de legionela, bacteria que se puede presentar en sistemas de torres de enfriamiento o lavadoras de aire (enfriamiento evaporativo) por presentarse un cambio de temperatura del agua o por agua estancada o acumulada. Se recomienda contratar a un especialista químico para este tipo de mantenimientos o eliminarla a través de una limpieza con un proceso de cloración.

#### Para el uso de agua en sistema contra incendio se recomienda:

- Contar con un acompañamiento de comisionamiento o validación de la calidad del sistema durante el ciclo de vida del proyecto con el fin de mitigar los errores constructivos y garantizar el cumplimiento de los objetivos trazados.
- Capacitar al personal de compras y contratación exponiendo los criterios de sostenibilidad que requiere el proyecto para garantizar la compra de equipos y materiales que cumplan con los requerimientos de sostenibilidad.
- Realizar acciones de comunicación con el grupo de trabajo en las que se busque crear conciencia de los problemas que puede traer al sistema un error en la ejecución de la obra y/o una mala operación o mantenimiento.

### Cálculo para el ahorro en otros usos

Para estimar el consumo de agua en estos casos se debe partir de la información del fabricante y del uso que tendrá en el proyecto.



## PASO 3 Replicar los flujos naturales

El tercer paso tiene como objetivo reducir la interrupción del ciclo hidrológico. Para esto se debe evaluar la posibilidad de potenciar la infiltración de las aguas lluvias, retener agua en el sitio y realizar una descarga controlada por medio de la utilización de medidas de bajo impacto y sistemas urbanos de drenaje sostenible - SUDS. A través del balance hídrico, el proyecto contará con la información de volúmenes de entrada y salida en términos del agua en el proyecto, y podrá evaluar las estrategias de sostenibilidad adecuadas para replicar los flujos naturales. Ver [Balance Hídrico](#).

Para disminuir el impacto negativo del desarrollo urbanístico en los ecosistemas hídricos es fundamental considerar las condiciones hidrológicas naturales, reteniendo las precipitaciones para proteger y preservar tanto los recursos hídricos del lugar como los de aguas abajo. Dadas las condiciones del lugar la retención del volumen de precipitación podrá ser limitada. Esto se puede dar por baja permeabilidad del suelo o suelos arcillosos, altos niveles de agua subterránea, problemas geotécnicos, contaminación de capas inferiores del suelo, ubicación de redes de servicios públicos o sistemas de transporte subterráneos, bajas tasas de evapotranspiración o consideraciones de equilibrio hídrico de la cuenca. Por esta razón es fundamental entender que cada proyecto deberá seleccionar las mejores estrategias de sostenibilidad de acuerdo a las condiciones del sitio y del proyecto.



## Estrategias de sostenibilidad para la gestión de la escorrentía

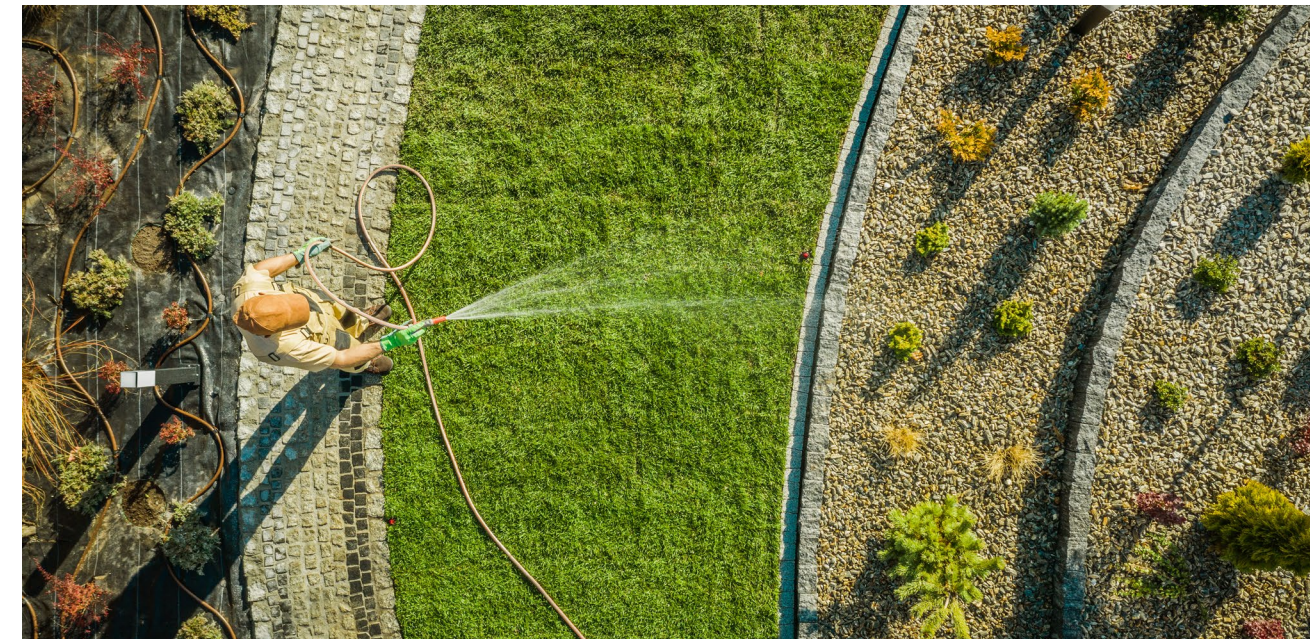
La escorrentía en un proyecto se debe gestionar de acuerdo a las variables del sitio y a la disponibilidad de superficies del proyecto. Sin embargo, en todos los casos se debe buscar replicar los flujos naturales del ciclo hidrológico del sitio. Para esto se debe priorizar el uso de estrategias que promuevan desarrollos de bajo impacto y/o de infraestructura verde. Entre estas se encuentran las soluciones basadas en la naturaleza, los sistemas urbanos de drenaje sostenible - SUDS, y los sistemas de captación y/o reúso de agua lluvia.

A continuación se muestran las estrategias más relevantes frente a la gestión de la escorrentía:

- Lograr que la escorrentía después del desarrollo del proyecto no supere la escorrentía natural que existía previo al desarrollo del predio.
- Garantizar que los volúmenes y las tasas de descarga no aumenten la tasa natural de erosión en los canales de agua receptores ni afecten negativamente los flujos ecológicos de un canal receptor o las tasas y volúmenes de reposición natural de las aguas subterráneas.
- Aplicar estrategias para reducir los volúmenes de escorrentía, los caudales máximos y la descarga de vertidos contaminantes.
- Aplicar estrategias para aumentar la evapotranspiración, la filtración y la infiltración, y para reducir el incremento de la temperatura del agua causada por el contacto con las superficies impermeables. Para esto se recomiendan las siguientes estrategias y enfoques de diseño:
  - Desde el diseño minimizar las superficies impermeables y especificar materiales permeables para las superficies duras, incluyendo concreto, asfalto y adoquines permeables.
  - Diseñar las superficies duras para que drenen en zonas localizadas del paisajismo para que reciban la escorrentía que estas superficies duras generan.
  - Hacer gestión de la escorrentía en el paisaje a través de plantas y suelos sanos como filtros, por ejemplo con el uso de cunetas verdes, zonas de bio-retención y jardines de lluvia. También se pueden utilizar humedales construidos que filtren, infiltren, evapotranspiren y retengan la escorrentía, recarguen las aguas subterráneas y reduzcan las cargas contaminantes, los volúmenes y las tasas de escorrentía.
  - Cuando se necesiten sistemas de conducción de la escorrentía, utilizar canales con vegetación siempre que sea posible. Cuando los canales con vegetación no se puedan utilizar, se debe priorizar el uso de materiales duros no erosivos para transportar las aguas superficiales como opción sobre el uso de tuberías, alcantarillas o canales subterráneos.



Las estrategias para gestión de la escorrentía dependerán de las características del suelo, ya que en suelos poco permeables pueden no ser aplicables. Es importante la evaluación de las tasas de infiltración (TI) del suelo cuando se quieren implementar estrategias basadas en procesos de infiltración. Cuando existen TI entre 6-15mm/h es necesario el uso de drenajes subterráneos. Si el TI es menor a 5mm/h, estos no son recomendados.



- Crear paisajes vivos utilizando elementos del suelo y de la vegetación, como por ejemplo techos, muros o fachadas con vegetación o huertas.
- Seleccionar elementos de vegetación adecuados que puedan tolerar inundaciones periódicas y la saturación del suelo sin perjudicar el crecimiento o el vigor de las plantas.
- Al seleccionar la vegetación para la gestión de la escorrentía, se debe solicitar información al especialista en paisajismo sobre plantas que sean resistentes o menos susceptibles a los contaminantes que se encuentran habitualmente en la escorrentía. Así mismo, se deben seleccionar las plantas adecuadas para el lugar y el clima en función de su capacidad para reducir la carga de contaminantes en la cuenca receptora.
- Mejorar la capacidad de retención de agua del suelo aumentando su contenido de materia orgánica mediante la adición de compost u otras sustancias orgánicas.
- Evitar o minimizar el uso de materiales en los edificios, el paisaje y la construcción de jardines que puedan ser una fuente de contaminantes estrategias y enfoques de diseño:
  - Techos de cobre y zinc, canalones, bajantes y revestimientos
  - Materiales galvanizados (por ejemplo, vallas, postes de vallas, barandillas, postes de señalización)
  - Madera tratada
- Utilizar prácticas de gestión integrada de plagas<sup>6</sup>, de tal forma que se reduzca el uso de químicos y sustancia tóxicas para el medioambiente.

<sup>6</sup>El Manejo integral de plagas (MIP) se basa en tres principios fundamentales: a) Uso moderado de productos químicos para mantener la población de la plaga en niveles bajos, b) Manejo de plagas, no erradicarlas y c) Selectividad de plaguicidas. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005247/HTM/CAPITULO\\_5.HTM#:~:text=El%20Manejo%20Integrado%20de%20plagas,productos%20\(Cancelado%2C%202.000\).](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005247/HTM/CAPITULO_5.HTM#:~:text=El%20Manejo%20Integrado%20de%20plagas,productos%20(Cancelado%2C%202.000).)



- Minimizar el uso de fertilizantes en el lugar y utilizar prácticas para reducir la escorrentía de nutrientes, por ejemplo, a través del uso de fertilizantes de liberación lenta o de un tiempo de aplicación optimizado para la absorción de las plantas.
- Planificar e implementar actividades durante procesos de obra, renovaciones y mantenimientos que reduzcan la exposición de contaminantes a las aguas pluviales, tales como:
  - Reducir al mínimo la exposición de los materiales almacenados a las precipitaciones para minimizar la posibilidad de que los contaminantes salgan del proyecto o entren en las aguas subterráneas.
  - Desarrollar e implementar un plan de respuesta en caso de derrames contaminados o de químicos.
  - Evitar el mantenimiento in situ de los equipos de construcción para reducir las cargas contaminantes de aceites, grasas o fluidos hidráulicos.
  - Evitar, en la medida de lo posible, el abastecimiento de combustible de los vehículos in situ.
- Cuando proceda, aplicar un tren de tratamiento o tratamiento en serie para proporcionar múltiples procesos de gestión de escorrentía para lograr redundancia en el sistema. Por ejemplo, evapotranspiración e infiltración, sedimentación, filtración, adsorción, degradación biológica o absorción.
- Mantener las tasas de infiltración y regenerar la capacidad de adsorción de los suelos.
- Para lograr una operación adecuada que garantice el resultado de las estrategias implementadas, se recomienda utilizar un calendario de mantenimiento anticipado y hacer sustitución de la vegetación y eliminación de la carga de sedimentos acumulada.
  - Se recomienda capturar el agua lluvia, la cual puede tener dos funciones, una asociada únicamente a retención y descarga controlada (ver [Balance hídrico por componente](#)), como es el caso de un tanque de tormentas, y otra para su reúso dentro del proyecto.



## Soluciones Basadas en la Naturaleza

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) son: “Soluciones inspiradas y respaldadas por la naturaleza, que son rentables, proporcionan simultáneamente beneficios ambientales, sociales y económicos, además de ayudar a crear resiliencia. Dichas soluciones aportan más naturaleza, así como características y procesos naturales y con mayor diversidad, a las ciudades y paisajes terrestres y marinos mediante intervenciones localmente adaptadas, eficientes en el uso de recursos y sistémicas.” (Comisión Europea, 2020). Las SbN enfocadas a la adaptación consideran aspectos en el diseño y la mejora de infraestructuras verdes y azules para proporcionar alguna forma de adaptación ante los riesgos climáticos.

La infraestructura verde hace referencia a los corredores verdes en zonas urbanas y puede estar conformada por parques, árboles, áreas verdes, techos y muros verdes, entre otros. Contribuye a la gestión de escorrentía y a la conservación de fauna y flora.

La infraestructura azul está relacionada con la infraestructura urbana de agua. Puede estar conformada por ríos, humedales, quebradas, lagos y otras estructuras para captar e infiltrar aguas lluvias.



Foto 4. Sistemas de antejardines que ayudan a la gestión de la escorrentía del proyecto El Paraiso. Créditos SYMA Consultores y Constructores

## Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – SUDS, son una respuesta a los impactos derivados de los procesos de modificación del suelo y los procesos de urbanización. Estas soluciones incluyen cunetas verdes, zonas de bio-retención, drenes filtrantes, superficies permeables para tráfico peatonal y vehicular, pondaje húmedo vegetado, sistemas de techos verdes, entre otras (Universidad de los Andes, 2017).



De igual forma, es importante considerar las limitaciones físicas del proyecto y la actividad del lugar donde se planea implementar. En la siguiente figura, se muestra la recomendación de tipología de SUDS según el área para el caso de Bogotá.

Tipologías \ Áreas potenciales	Tanques de almacenamiento	Zonas de bio-retención	Alcorques inundables	Cunetas verdes	Zanjas de infiltración	Cuenca seca de drenaje extendido	Pavimentos permeables
Parques		X		X	X	X	X
Plazas	X	X	X				X
Andenes	X	X	X				X
Vías (flujo vehicular bajo)	X				X		
Zonas comerciales	X	X	X				
Zonas industriales	X						
Zonas institucionales	X	X	X				
Separadores viales	X	X	X	X	X		X
Corredores verdes		X		X	X		X
Jardines domiciliarios	X	X					X
Parqueaderos	X	X	X		X		X

Figura 5. Preselección de tipologías de SUDS según áreas potenciales. Fuente: Universidad de los Andes, 2017

Para la definición de las alternativas adecuadas para cada proyecto se deben considerar las características del lugar en cuanto a su uso, restricciones del terreno y facilidades de operación, entre otras. Tomando como referencia un estudio de la Universidad de los Andes con el Acueducto de Bogotá y la Secretaría de Ambiente de Bogotá de 2017, se muestra a continuación el diagrama con la metodología propuesta para la selección de SUDS.

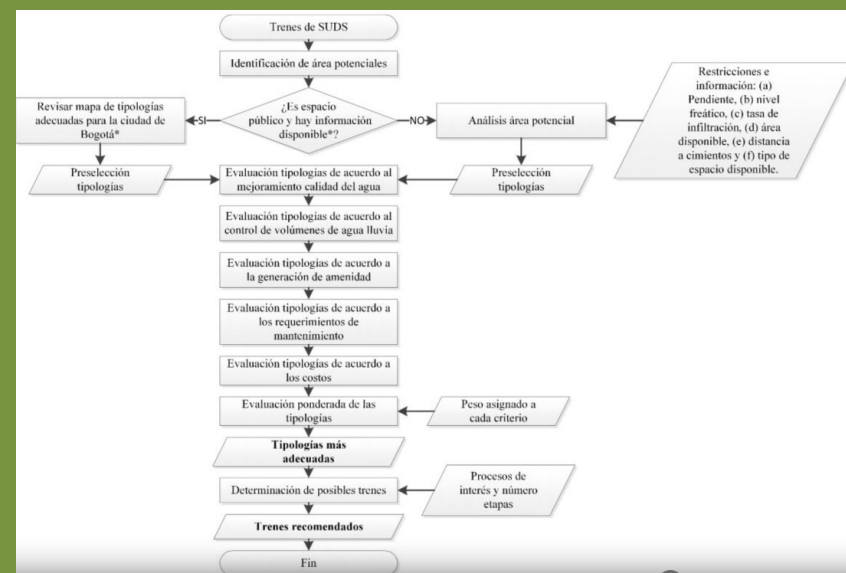


Figura 4. Metodología de selección de tipología de SUDS. Fuente: Universidad de los Andes, 2017.

Adicionalmente, se deben considerar las restricciones de pendiente, distancia al nivel freático, tasa de infiltración del suelo y distancia a cimientos para las tipologías consideradas. En la siguiente figura se muestran estas restricciones.

Parámetro	Tipo de restricción por valor	Cunetas verdes	Zanjas de infiltración	Pavimentos permeables	Zonas de bio-retención	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje extendido
Pendiente longitudinal (%)	Máximo	10 <sup>1</sup>	5 <sup>1</sup>	5 <sup>11</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup>	15 <sup>1</sup>
	Mínimo	1 <sup>11</sup>	1 <sup>2</sup>	0.5 <sup>3</sup>	X	X	1 <sup>2</sup>
Distancia al nivel freático (m)	Mínimo	1.5 <sup>1</sup>	3 <sup>2</sup>	3 <sup>8</sup>	1.8 <sup>3</sup>	1 <sup>3</sup>	3 <sup>1</sup>
Tasa de infiltración del suelo* (mm/h)	Mínimo	13 <sup>3</sup>	7 <sup>7</sup>	13 <sup>3</sup>	7 <sup>10</sup>	7 <sup>10</sup>	7 <sup>2</sup>
Distancia a cimientos**	Mínimo	4 <sup>9</sup>	6 <sup>12</sup>	6 <sup>12</sup>	6 <sup>12</sup>	2 <sup>13</sup>	6 <sup>2</sup>

X No se presenta información disponible  
<sup>1</sup> Geosyntec consultants (2010)  
<sup>2</sup> Riverside County Flood Control and Water Conservation District (2011)  
<sup>3</sup> City of Edmonton (2011)  
<sup>4</sup> CIRIA, Norfolk County Council (2007)  
<sup>5</sup> City of Santa Rosa (2011)  
<sup>6</sup> Urban Drainage and Flood Control District (2010)  
<sup>7</sup> Center for Watershed Protection (2000)  
<sup>8</sup> Clean Water Services (2009)  
<sup>9</sup> Toronto and Region Conservation Authority (2010)  
<sup>10</sup> Department of Defense - USA (2010)  
<sup>11</sup> City of Los Angeles (2011)  
<sup>12</sup> Virginia Department of Transportation (2013)  
<sup>13</sup> Secretaría de Ambiente de Bogotá (2015)

\* La tasa de infiltración deberá ser estimada por medio de pruebas de infiltración realizadas en el sitio donde se desea implementar la tipología. Debido a la variedad de suelos presentes en la ciudad de Bogotá, no se considera apropiado estimar una tasa de infiltración promedio pues este es un factor importante en el desempeño de las tipologías, por lo que es necesaria una estimación precisa de la misma.

\*\* Distancia a cimientos corresponde a la distancia mínima recomendada entre el sitio de implementación de la estructura y los cimientos de fundación de estructuras aledañas como edificaciones y vías (Virginia Department of Transportation, 2013).

Figura 6. Restricciones recomendadas según tipología de SUDS. Fuente: Universidad de los Andes, 2017.



## Metodología de cálculo para la gestión de escorrentía

Para la gestión de la escorrentía los proyectos pueden seleccionar una combinación de estrategias adecuadas para sus condiciones técnicas y económicas. Estas pueden funcionar en serie o en paralelo.

Existen diferentes metodologías para calcular la escorrentía del proyecto y para calcular la escorrentía que debe gestionar un proyecto. En esta guía recomendamos las siguientes por su gran utilidad para el proceso de toma de decisiones:

- Para calcular la escorrentía de un proyecto, se sugiere la metodología de Balance general del proyecto, la cual se puede consultar en el capítulo correspondiente.
- Para calcular el volumen de escorrentía que se debe gestionar, se puede estimar de acuerdo al percentil que se defina de precipitación. A continuación se explica esta metodología.

### 1. Recolección de información

Recolectar registros históricos de precipitación de una estación cercana al proyecto (se recomienda mínimo una serie de 10 años). Esta información se puede obtener del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) o de otras estaciones meteorológicas de la ciudad que provean una fuente confiable de información. Se deben eliminar los datos de los días de no lluvia.

## 2. Cálculo del percentil



Según la EPA, la retención en sitio del percentil 95 de precipitación es equivalente a mantener o restaurar la hidrología previa al desarrollo con respecto al volumen, el caudal, la duración y la temperatura de la escorrentía para la mayoría de los sitios. Sin embargo el valor del percentil a calcular se debe definir de acuerdo a los objetivos del proyecto, a mayor percentil es mayor la exigencia en la gestión.

El valor del percentil se puede calcular manualmente, sin embargo, por la cantidad de datos que se va a utilizar se recomienda usar un calculador.



Para calcular el Percentil se puede usar la función correspondiente de Excel. Para esto se debe contar con una hoja de cálculo, ordenar los datos de precipitación de menor a mayor y calcular el porcentaje de eventos que son menores que cada evento clasificado (número de eventos/número total de eventos). También Excel se puede utilizar la siguiente función:

PERCENTIL (matriz, k)

Donde "matriz" es el rango de datos, para este caso los valores de precipitación, y "k" es el valor del percentil en el rango de 0 a 1.

## 3. Cálculo del volumen de lluvia dentro de la intervención del proyecto

La precipitación del percentil definido en el punto anterior se multiplica por el área de la superficie total de la huella de la planta/proyecto, con lo cual se obtiene el volumen de lluvia dentro del proyecto.

## 4. Gestión del volumen de escorrentía en sitio

Se deben evaluar y emplear controles de gestión de aguas lluvias in situ que permitan la infiltración, evapotranspiración y/o recolección y uso del volumen de diseño.



Para el diseño de diferentes tipologías de SUDS se recomienda usar normas o guías de diseño como la NS 166 Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS).

### Ejemplo 9. Estrategias de gestión de escorrentía

*Un proyecto con 5.000 m<sup>2</sup> de área de intervención, calcula que el percentil 95 corresponde a 9,6 mm de acuerdo con los datos de precipitación históricos de la estación meteorológica mas cercanos al proyecto. Por lo que se calcula que el volumen de lluvia que cae en el proyecto para el percentil 95 es 48 m<sup>3</sup>. Como estrategias de sostenibilidad para gestionar los 48 m<sup>3</sup>, el proyecto contará con una combinación de estrategias paralelas como cubierta verde, alcorques inundables y captación para reúso en sanitarios.*



## PASO 4

### Evaluar fuentes alternativas de abastecimiento

El objetivo del cuarto paso es determinar la disponibilidad y viabilidad de fuentes alternativas de abastecimiento de agua para el proyecto. Para esto es necesario identificar cuál es la calidad del agua requerida en los diferentes puntos del proyecto e identificar cuáles son las fuentes de agua disponibles. Lo que se busca es determinar los usos no potables para abastecer con agua no potable. Con el aprovechamiento de diferentes tipos de agua presentes en los proyectos se puede ayudar a disminuir las cargas de consumo potable y los volúmenes de vertimientos de aguas residuales.

Para seleccionar las estrategias y fuentes de reutilización de agua en el proyecto se recomienda evaluar la disponibilidad (cantidad de agua y frecuencia de recolección), el costo del tratamiento, el costo de la infraestructura necesaria y el costo de mantenimiento.

Es importante tener en cuenta que todas las fuentes alternativas de agua requerirán algún tipo de tratamiento para poder ser reutilizadas. A continuación se presentan las fuentes alternativas de agua más usadas (organizadas según el nivel de tratamiento requerido, de menor a mayor): agua lluvia, agua de condensación del sistema HVAC, agua gris y aguas servidas.

Si bien el proceso de diseño del sistema para cada fuente alternativa puede variar, a continuación se enuncian algunas consideraciones aplicables a cualquier fuente alternativa de abastecimiento.

#### Para el tanque de almacenamiento se recomienda:

- Para el almacenamiento de agua, cumplir con la normativa o licencia de construcción dependiendo si se necesitan uno o dos días de autonomía, siendo este el requerimiento de almacenamiento. Se debe calcular el dimensionamiento para cumplir esta condición. Si se contempla la norma NFPA para red contra incendios, también se debe dimensionar el volumen requerido y obtener la ruta crítica del agua.
- Realizar un balance hídrico con las demandas y todas las posibles fuentes de agua in situ para determinar el tamaño del tanque de almacenamiento.
- Evaluar el espacio disponible para garantizar que se puede realizar un adecuado mantenimiento en la operación.
- Entender las sinergias del diseño hidráulico y el tamaño del tanque, con el diseño estructural y geotécnico. A mayor tamaño del tanque y mayor profundidad, mayores costos asociados a estos diseños.
- Conectar el tanque de agua potable con el tanque de agua ya tratada para garantizar el servicio de manera ininterrumpida.
- Garantizar la redundancia del sistema para la realización del mantenimiento sin interrupción del servicio.
- Cuando se defina la ubicación del tanque considerar la posibilidad de tener que conectarlo con otros tanques en el futuro. Además, la localización debe minimizar la longitud del sistema de distribución del agua recolectada.
- Tener múltiples tanques de menor volumen permite tener mejor control de contaminantes, mejorar la calidad biológica del agua, mejorar la capacidad de sedimentación y minimizar la turbulencia.
- Para el reúso de agua en riego se debe ubicar el tanque cerca al paisaje para reducir la longitud de la tubería. Así mismo, se debe considerar la posibilidad de hacer riego directo en los casos en los que no es necesario el almacenamiento.

#### Para la tubería se recomienda:

- Darle un color o un etiquetado a la tubería del agua no potable reutilizada, como por ejemplo aguas grises, agua lluvia o agua de condensado, para recarga de sistemas de sanitarios o sistemas de riego.
- Considerar utilizar PVC reciclable para tuberías de aguas lluvias o residuales.
- Separar la recolección de aguas grises de las servidas, incluso cuando no se esté buscando usar el agua gris en el corto plazo, ya que esto puede facilitar su uso en el futuro.

#### Para el tratamiento se recomienda:

- Realizar caracterización fisicoquímica del agua inicial y conocer la calidad requerida en el uso final para determinar el tratamiento adecuado. Se recomienda definir estos parámetros con el apoyo de un experto con el fin de garantizar la calidad del agua en el uso final. Para esto, se pueden seguir los lineamientos mínimos de calidad estipulados en la Resolución 1256 de 2021 y la Resolución 1575 de 2015.
- Para determinar la viabilidad en el uso de fuentes alternativas de suministro de agua, se deben considerar los costos asociados y el periodo de retorno de la implementación en cada fuente, incluyendo costos de construcción, mantenimiento y tratamiento.
- En caso de reutilizar diferentes fuentes de abastecimiento, se recomienda la distribución individual y el tratamiento por separado, para evitar la dilución de los contaminantes.





## Estrategias de sostenibilidad para usar el agua lluvia

Para hacer aprovechamiento del agua lluvia se deben analizar las variables hidrológicas y meteorológicas de las condiciones de sitio, especialmente los valores diarios de precipitación con los que se cuentan regularmente en el proyecto. Ver [Paso 1. Establecer las metas del proyecto y conocer las condiciones de contexto.](#)

Se recomienda:

- Revisar si por normativa o licencia se exige contar con un tanque de tormentas y analizar el uso que se le pueda dar al agua recolectada.
- Utilizar tanques de almacenamiento de agua lluvia completamente herméticos y sin acceso directo a la luz solar para evitar la proliferación de bacterias. En la medida de lo posible, incorporar sistemas que mantengan el agua almacenada en constante movimiento, para evitar la estancamiento.
- Tener un tiempo de almacenamiento de agua lluvia de máximo de 15 días, sin contacto con la luz solar.
- Tener dos tanques para el almacenamiento de aguas lluvias, uno de llegada directa o agua cruda, y otro donde llegue el agua después de un proceso de filtrado o tratamiento para su almacenamiento.
- Conectar el tanque de agua lluvia tratada con el tanque de agua potable de suministro, para garantizar servicio ininterrumpido. Así mismo definir la secuencia de operación en la que según la lámina de agua se permite el ingreso de agua potable (bypass), y contar con submedición de agua lluvia y agua potable de entrada al sistema.
- Para no alterar la calidad inicial del agua lluvia, seleccionar un material de captación del agua lluvia que no presente trazas de cobre y/o hierro, pues al momento de su reúso, la porcelana y/o la cerámica de aparatos sanitarios se manchan con estos metales.
- Para la captación de agua lluvia de cubiertas verdes, seleccionar un sustrato con baja cantidad de materia orgánica y que evite alterar el color en el agua.
- Recolectar agua lluvia preferiblemente de cubiertas no transitables y sin uso para el mantenimiento de equipos por riesgo de contaminación con grasas y aceites.
- Para mejorar la eficiencia de recolección, especificar superficies lisas con alto valor de coeficiente de escorrentía, tener recubrimiento de las canaletas para evitar pérdidas e implementar el sistema de distribución sifónico, debido a su mayor eficiencia de recolección cuando se compara con el sistema gravitacional.
- Para uso final de riego con aspersión o por goteo, hacer un tratamiento con filtros o vórtices centrífugas en bajantes para evitar colmatación del sistema de riego.
- Para uso final en sanitarios hacer un tratamiento con desarenador, filtros o vórtices y desinfección.



Es importante tener en cuenta datos históricos de precipitación diaria de mínimo 10 años. Así mismo, será útil tener en cuenta las proyecciones de cambio climático y los valores futuros de precipitación. Para esto, se pueden utilizar las bases de datos proyectadas y los métodos propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).



## Metodología de cálculo para uso de aguas lluvia

Para el análisis de disponibilidad de agua lluvia se pueden usar dos alternativas de análisis, la primera a partir del volumen disponible y la segunda a partir de la disponibilidad del caudal. La primera es más frecuente para hacer un análisis de viabilidad de sistemas de recolección de aguas lluvias, como lo son los tanques de almacenamiento, mientras que la segunda es más frecuente en el cálculo de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Las dos alternativas se explican en [Balance hídrico por componente.](#)



Foto 5. Sistema de captura y tratamiento de agua lluvia Aeropuerto El Dorado. Créditos Setri Sustentabilidad SAS



## Uso de agua de condensación HVAC

Cuando el vapor de agua en el aire (humedad) entra en contacto con una superficie más fría, el agua cambia de un estado de gas a un estado líquido y se recoge en la superficie. Este proceso por medio del cual el vapor de agua del aire se transfiere a un estado líquido se denomina condensación.

Los aires acondicionados en zonas húmedas necesariamente enfrían y deshumectan el aire para lograr las condiciones interiores adecuadas. Esta deshumectación da como resultado una cantidad de agua que se condensa en los serpentines y que desafortunadamente es desaprovechada en gran parte de las edificaciones.

- Las variables climáticas más importantes a tener en cuenta para este tipo de aprovechamiento de agua es la temperatura y la humedad relativa. De manera más específica, se pueden tener en cuenta diferentes variables psicrométricas como la temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, entalpía, volumen específico del aire, humedad absoluta y humedad relativa.
- En la mayoría de los casos estos sistemas producen un tipo de agua con alta calidad y muy limpia (agua destilada). Sin embargo, cuando no se tiene un buen control y mantenimiento de los equipos existe el riesgo de proliferación de patógenos o bacterias, por lo que las estrategias de control y el correcto mantenimiento son fundamentales.
- El agua de condensado aprovechable es un porcentaje de las toneladas de refrigeración de los sistemas HVAC. Dicho esto, se puede hablar de un aprovechamiento moderado del agua de condensado cuando la temperatura seca promedio del sitio donde se encuentra el proyecto es mayor a 25°C (77°F) y cuando se tiene una humedad relativa promedio del sitio del proyecto mayor al 60%. Sin embargo, si realmente se quieren tener volúmenes considerables de agua de condensado aprovechable para su reutilización, se debería contar con una temperatura seca promedio mayor a 30°C (86°F) y una humedad relativa promedio mayor al 80% (entre 130 y 150 granos de humedad).
- El agua de condensado se puede usar para abastecimiento de aparatos de descarga: orinales e inodoros. También se puede usar como agua de reposición en un sistema de agua fría con torre de enfriamiento donde se da su mejor aprovechamiento. Esto se debe a que se tiene un agua destilada muy baja en minerales, lo que la hace ideal para reposición en las torres, en donde además se puede aprovechar el efecto térmico pues su temperatura es baja. También se puede aprovechar a través de algún sistema mecánico de rocío sobre los condensadores para mejorar su eficiencia.
- Si es filtrada, el agua de condensado de los sistemas HVAC también se puede utilizar en sistemas de riego. Por la naturaleza del agua destilada, si se va a hacer un uso final para riego, se deben adicionar nutrientes al agua para evitar daños a las especies vegetales, como los estipulados en el Manual de Coberturas Vegetales de Bogotá D.C. de la Alcaldía Mayor de Bogotá, el Jardín Botánico de Bogotá y la Universidad de los Andes (2020).



La recuperación del agua de condensación del aire acondicionado produce un flujo de agua constante que dependiendo de las condiciones de sitio puede resultar en un volumen considerable a reutilizar, especialmente en climas cálidos húmedos.



- La tubería de recolección debe ser aislada para evitar generar condensación en las superficies de las tuberías si estas están en cielorrasos u otras áreas expuestas a aire caliente y húmedo. Además, se debe realizar mantenimiento a las bandejas de recolección de agua de condensado al menos tres veces cada año, con el fin de retirar la suciedad
- Para evitar la contaminación del condensado las bobinas de evaporación y la bandeja de recolección del agua se deben mantener limpias de polvo, suciedad y escombros. Para mantener la bobina de evaporación limpia y evitar crecimiento de patógenos, se recomienda tener unos buenos niveles de filtración de acuerdo al tipo de zona y aplicación. Además, realizar regularmente el cambio de filtros de aire acondicionado

## Metodología de cálculo para disponibilidad de agua de condensación HVAC —

Para el cálculo de disponibilidad del agua de condensado, se requiere conocer la cantidad de flujo de aire y a las condiciones de humedad absoluta con la que esta entra y sale del serpentín. También se deben estimar los regímenes de trabajo de los equipos (horas de operación y porcentaje de carga) a lo largo del tiempo.

A continuación, se muestra el cálculo de disponibilidad para este tipo de agua:

$$\text{Volumen}_{\text{Condensado}} [m^3] = Q_{\text{condensado}} [m^3/\text{min}] \times \text{Cantidad de equipos} \times \text{Tiempo}_{\text{Operación}} [\text{min}]$$

*Ecuación 11*

El diseñador mecánico debe realizar esta estimación. El tiempo de operación depende de la ocupación y tipología del proyecto. En la medida de lo posible, se debe conocer el tiempo de operación de los equipos y la cantidad de estos.



Se recomienda llevar a cabo los siguientes pasos:

### 1. Determinar la capacidad del sistema

Se debe determinar la capacidad de toneladas de refrigeración del sistema,  $Capacidad_{Sistema} (Ton)$ , de acuerdo con el diseño del sistema de HVAC. Este viene dado por las fichas técnicas de los sistemas de aire acondicionado. Si esta información no se presenta en unidades de toneladas de refrigeración, es posible que esté indicada en otras unidades como BTU/hr o cfm. En este caso se puede tener en cuenta la siguiente conversión de unidades:

$$1 \text{ Ton Refrigeración} = 12.000 \text{ BTUhr} = 400 \text{ cfm}^*$$

*Ecuación 12*

*\*A nivel del mar y para aplicaciones comerciales.*

### 2. Determinar el porcentaje de la capacidad total de operación

Como siguiente paso se determina el porcentaje de la capacidad total en la que el sistema opera o la potencia a la que va a operar,  $\%CapacidadTotal$ .

*Ejemplo 10. Porcentaje de capacidad de refrigeración*

*Un proyecto cuenta con un sistema de aire acondicionado de 200 toneladas de refrigeración de capacidad máxima, Esta capacidad no se ocupa el 100% del tiempo a excepción de las horas pico, normalmente opera a 150 toneladas de refrigeración. Se calcula entonces que se tiene un porcentaje de capacidad del 75% sobre su capacidad total.*

### 3. Determinar la humedad específica que entra al equipo

La humedad específica del aire que entra a la manejadora de aire del sistema =  $H_{in} (granos/ft^3)$

Para determinar esta humedad específica se debe conocer la temperatura y humedad relativa del aire. Una vez se tengan estos valores se debe utilizar la tabla del [Apéndice B: Gránulos de humedad por pie cúbico de aire](#), entrando en el eje X de la tabla por la humedad relativa del sitio y por el eje Y con la temperatura seca en grados Fahrenheit. Estos con los valores del ambiente de condición actual.

### 4. Determinar la humedad específica que sale al equipo

La humedad específica del aire que sale de la manejadora de aire del sistema =  $H_{out} (granos/ft^3)$ .

Para determinar su valor, se debe utilizar el mismo procedimiento del paso anterior, pero ingresando a la tabla del [Apéndice B: Gránulos de humedad por pie cúbico de aire](#), con los valores de temperatura a la que se quiere llegar y lo mismo con la humedad relativa.



Aunque la humedad específica de salida oscila entre el 85 y el 95%, un valor de 90% es un buen valor de referencia típica para esta variable.

### 5. Calcular la diferencia

La diferencia entre la humedad específica del aire que entra por el serpentín y el que sale de la manejadora =  $H_{\Delta} (granos/ft^3)$

$$H_{\Delta} (granos/ft^3) = H_{in} (granos/ft^3) - H_{out} (granos/ft^3) > 0$$

*Ecuación 13*

Esta diferencia siempre debe ser positiva para asegurar que se produce condensación. Esto significa que el equipo está removiendo humedad del aire para después condensarla.

### 6. Calcular el flujo máximo de aire

Flujo máximo de aire =  $flujo_{Aire\ max} (ft^3/min)$

Para la óptima operación del sistema de refrigeración se necesitan aproximadamente 350 pies cúbicos de aire por minuto por tonelada de refrigeración. Este se calcula de la siguiente manera:

$$flujo_{Aire\ max} = 350 (ft^3/min\ Ton) \times Capacidad_{Sistema} (Ton)$$

*Ecuación 14*

### 7. Calcular el flujo real

El flujo real de aire =  $flujo_{Aire\ real} (ft^3/min)$

Utilizando el valor definido en el Paso 2, se calcula el flujo de aire real.

$$flujo_{Aire\ real} = flujo_{Aire\ max} (ft^3/min) \times \%CapacidadTotal$$

*Ecuación 15*

### 8. Calcular condensado por grano de humedad

Total de condensado producido como granos de humedad =  $Q_{granos} (granos/min)$

$$Q_{granos} (granos/min) = flujo_{Aire\ real} (ft^3/min) \times H_{\Delta} (granos/ft^3)$$

*Ecuación 16*

### 9. Calcular caudal de condensado

Se deben convertir los gránulos de humedad a galones por minuto de condensado, esto es igual a:

$$Q_{condensado} (gal/min) = (Q_{granos} (granos/min) / 58\ 310 (granos /gal))$$

*Ecuación 16*



Para el cálculo anterior, se debe tener en cuenta que 1lb de agua equivale a 7.000 gránulos de humedad y que el valor de la densidad del agua que se utiliza es de 8.33 lb/gal, lo que arroja como resultado el valor de 58.310 gránulos de humedad por galón de agua.

Una vez se tiene el cálculo de galón de condensado por minuto, este se puede convertir al sistema internacional a metros cúbicos por minuto. Así es posible conocer la cantidad de agua disponible generada por los equipos del sistema.



## Estrategias de sostenibilidad para uso de agua gris

El agua gris es la generada por las descargas del uso de lavadoras, lavamanos, bañeras y duchas. Dentro de sus principales usos está la descarga de inodoros, la limpieza y el aseo. Sin embargo, también puede ser usada para sistemas de riego de paisajismo.

Para su uso adecuado se recomienda:

- Diseñar el sistema de agua residual separando aguas grises y servidas.
- En las bajantes poner trampas de grasas para evitar una posible contaminación por aceites y grasas que pueden estar presentes en las diferentes fuentes.
- Utilizar volúmenes pequeños para el tanque de acumulación o recolección de agua gris, ya que esta no puede estar almacenada por más de un día debido a la posible generación de olores y proliferación de microorganismos.
- Considerar su uso en proyectos hoteleros y residenciales debido a su cantidad y generación constante.



Se debe instalar una doble válvula antirreflujo en la conexión del agua gris con el agua servida para evitar contaminación por agua servida en el sistema.

- Analizar como primera medida la oferta por agua de duchas y lavadoras debido a su alta generación de agua gris. En el uso doméstico, los lavamanos aportan una cantidad muy pequeña de agua y generalmente contienen gran cantidad de pelo, lo que dificulta su tratamiento.
- Construir dos tanques de almacenamiento, uno de agua cruda, como llega en el primer uso, y otro del agua ya tratada. Se recomienda hacer mantenimiento y limpieza a los tanques de almacenamiento de agua gris cada seis meses o hasta cada año.
- Para determinar el tratamiento que se requiere para el uso final, se debe hacer una caracterización fisicoquímica del agua gris y una definición de la calidad del agua requerida para su reúso. Para esto, se puede seguir lo estipulado en la Resolución 1256 de 2021 u otra aplicable al proyecto.
- Para su uso en riego, el tratamiento dependerá de los jabones utilizados dentro del proyecto y de las especies de plantas a regar. Los compuestos de sal, sodio, boro, bórax y cloro generan efectos adversos en las plantas.
- Para que las aguas grises puedan ser utilizadas en un sistema de riego por goteo, primero se debe remover la suciedad, el cabello y la pelusa mediante filtración para evitar la obstrucción de los emisores de gota.
- Si las aguas grises se van a utilizar para riego, hacerlo preferiblemente en especies de gran tamaño, no en especies pequeñas. También hacer el riego por debajo de la superficie para evitar el contacto humano. Por esta razón no se recomienda realizar el riego por aspersión, a menos que se realice un tratamiento previo.

- Para hacer un uso final en sanitarios y orinales, primero se debe realizar desarenación, filtración y desinfección debido al posible contacto con humanos. También se debe realizar remoción de jabones para evitar el ensuciamiento de la cerámica. El proceso de tratamiento debe prevenir la formación de biopelículas en el sistema de distribución y almacenamiento.



Para la reutilización de aguas grises en los sanitarios se recomienda poner pastillas de cloro en las paredes de los inodoros.

## Metodología de cálculo para uso de aguas grises

Para determinar la disponibilidad de aguas grises procedente de aparatos sanitarios, se deben usar los cálculos para estimar el uso de agua en aparatos de flujo. Ver [Estimar demanda propuesta](#). Para este cálculo solo se deben incluir los aparatos que hacen parte de la red de aguas grises para reúso.



No se recomienda incluir los lavaplatos en las consideraciones de uso de agua gris, ya que aunque son un aparato de flujo pueden contener una carga alta de contaminantes.

Si se va a usar agua gris procedente de equipos como lavadoras de ropa, su generación se deberá estimar de acuerdo a su uso y a los datos del fabricante.

En los dos casos el resultado del cálculo se debe ajustar de acuerdo al sistema de recolección de aguas grises que se utilice, su tratamiento y almacenamiento, de tal forma que se tengan en cuenta las pérdidas del sistema y el rebose.

## Estrategias de sostenibilidad para uso de aguas servidas domésticas

Las aguas servidas son el producto de aguas residuales principalmente de inodoros, orinales y lavaplatos. Es considerada el tipo de agua más contaminada y, por ende, más compleja de tratar. Por lo tanto, se recomienda evaluar esta implementación solamente en zonas donde se dificulte el acceso al suministro de agua.

Es importante tener en cuenta:

- Su uso más recomendado es en el riego subsuperficial de paisajismo, debido a su alto contenido de nutrientes.
- Para el uso de riego superficial, uso en sanitarios e inodoros y otros usos no potables, se debe realizar un tratamiento avanzado (primario, secundario, terciario y químico) que cumpla con los estándares mínimos de los respectivos usos definidos en la normativa aplicable. También se pueden diseñar sistemas anaeróbicos de aguas servidas para sistemas de riego de vegetación no comestible.



- Se pueden utilizar pondajes o humedales artificiales como parte del tratamiento de las aguas servidas.
- Su tiempo de almacenamiento no puede ser prolongado debido a la probable proliferación de microorganismos y olores.
- Si se cuenta con tanque de sedimentación, en el tratamiento se debe considerar el volumen de lodos generados para su posterior disposición.
- Se recomienda la construcción de sistemas herméticos para el tratamiento de las aguas servidas. Estas no deben tener contacto directo con otras fuentes de agua limpia que puedan verse contaminadas de manera directa. El mantenimiento se debe hacer de forma regular y preventiva como mínimo cada 6 meses y contar con un tiempo de retención máximo del agua de 48 horas.

### Metodología de cálculo para uso de aguas servidas

Para determinar la disponibilidad de aguas servidas procedente de aparatos sanitarios, se usarán los cálculos que se presentan en el paso Estimar demanda propuesta. Solo se deben incluir los aparatos que hacen parte de la red de aguas servidas para uso.

El resultado de este cálculo se debe ajustar de acuerdo al sistema de recolección de aguas que se utilice, su tratamiento y almacenamiento, de tal forma que se tengan en cuenta las pérdidas del sistema y el rebose

### Estrategias de sostenibilidad para uso de aguas servidas domésticas

Dependiendo de la tipología del proyecto y de las condiciones del sitio, es posible contar con la disponibilidad de otras fuentes alternativas de abastecimiento como pueden ser las aguas residuales procedentes de procesos industriales o no domésticas, y a la obtenida a través del rocío, lluvia horizontal, niebla o neblina.

### Metodología de cálculo para uso de otros tipos de fuentes

#### Aguas residuales de origen industrial

Para usar las aguas residuales de origen industrial se debe tener en cuenta la caracterización o la carga contaminante que se deba remover para su uso. Los parámetros pueden incluir metales pesados, plaguicidas, entre otros.

#### Lluvia horizontal o niebla

Los sistemas de captación de agua con base en lluvia horizontal o atrapaniebla pueden constituirse en una alternativa viable para suplir en parte la demanda de agua. Para su instalación se debe tener claro el alcance del proyecto y la meta de captación de agua, para garantizar una infraestructura de tamaño suficiente. También se debe conocer la oferta de humedad de las nubes para obtener los mejores beneficios y se deben verificar las condiciones físicas del área de instalación y el entorno para identificar el mejor lugar para los equipos. Estos son proyectos que requieren de un conocimiento puntual, los valores regionales no siempre son índice de buenos resultados (Mendoza & Castañeda, 2014).



## PASO 5

### Integrar estrategias para mejorar la calidad del vertido

Después de evaluar fuentes alternativas de abastecimiento, el quinto y último paso busca integrar estrategias para mejorar la calidad del vertido. El objetivo es disminuir los contaminantes del agua en la salida del proyecto para reducir los impactos asociados al daño al hábitat de peces y otros organismos acuáticos, las preocupaciones de salud en humanos y animales terrestres, la disminución de oportunidades de recreación y turismo basados en los cuerpos de agua, el incremento en costos de limpieza y mantenimiento y la reducción del valor estético de los cuerpos de agua, entre otros.

Muchas de las recomendaciones de los pasos anteriores aportan a la disminución de la cantidad de agua residual vertida en una edificación. Al reducir la carga de consumo dentro de las edificaciones se está vertiendo menos agua a las fuentes receptoras. De igual forma, al separar las aguas grises y lluvias para su posterior uso, se vierte menor cantidad de agua residual al alcantarillado. En este paso, el enfoque está entonces en el uso de tecnologías para mejorar la calidad del agua que sale del proyecto.



La complejidad del tratamiento que se utilice para el agua residual debe tener en cuenta la calidad inicial y la deseada al final del proceso. Esta se logra mediante la implementación de un tren de tecnologías específicas.

Para el tratamiento y filtrado del vertido se recomienda dar prioridad a las soluciones basadas en la naturaleza a través de la implementación de las diferentes estrategias expuestas en el [Paso 3: Replicar los flujos naturales](#).

Se recomienda:

- Tratar la contaminación del agua pluvial tan cerca como sea posible de la fuente para disminuir desde un principio el impacto, los costos y la complejidad del tratamiento. Una buena práctica, que integra implementaciones de microescala, consiste en utilizar cubiertas verdes debido a su bajo costo y su función paisajística.
- Utilizar especies vegetales para las cubiertas verdes que sean capaces de fijar y absorber contaminantes. Las especies macrófitas o con rizomas generadoras de bacterias en las raíces mejoran la calidad del agua de salida.
- Hacer una selección adecuada del sustrato empleado en las cubiertas verdes para que no se convierta en una fuente de contaminación del agua.
- Para la selección de tecnologías que buscan infiltrar agua al terreno, se debe usar el material granular y las capas filtrantes más adecuadas para reducir las cargas contaminantes del agua pluvial mediante procesos fisicoquímicos como sedimentación, filtración, adsorción y biodegradación.
- El tratamiento del agua con humedales en proyectos donde sea posible por disponibilidad de área, debido a su facilidad constructiva y aporte paisajístico. Se recomiendan específicamente los de flujo sub-superficial para reducir el riesgo de contaminación en la superficie.
- Utilizar filtros en el sistema de captación de aguas lluvias de cubierta y las bajantes con centrífuga para la remoción de sólidos suspendidos totales en el agua. Una buena práctica consiste en instalar trampas de grasa en el sistema de captación de aguas grises.
- Para el tratamiento de aguas servidas, utilizar procesos biológicos y fisicoquímicos antes de verter a las fuentes receptoras.



Foto 6. Cubierta verde Centro Cívico Universidad de los Andes.  
Créditos Enrique Guzman Universidad de los Andes.

# 8

## BALANCE HÍDRICO: HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE Y CIRCULAR DEL AGUA



El balance hídrico es la mejor herramienta para tomar decisiones que aseguren una gestión sostenible y circular del agua. Es por esto que se utiliza de manera transversal como enfoque en [Los pasos para la gestión del agua en la construcción sostenible](#).

El balance hídrico se puede realizar a escala de la cuenca, del proyecto y de los distintos componentes dentro del sistema de gestión del agua. Sin embargo, en esta guía se tratarán únicamente los alcances del balance hídrico del proyecto y de los componentes dentro del sistema. En todos los casos se deben tener en cuenta las entradas y salidas de agua de la frontera escogida. Como el balance hídrico es único para cada proyecto y componente, se debe evaluar de manera específica teniendo en cuenta los flujos y variables aplicables.

A continuación se presentan las consideraciones más relevantes para determinar los diferentes flujos para la realización del balance hídrico de los componentes y del proyecto.



### Flujo: Precipitación y Escorrentía

- ✓ Para calcular la disponibilidad de agua lluvia se recomienda contar con información diaria de precipitación para el análisis de viabilidad teniendo en cuenta el uso final. Para la tipología de vivienda y hotelera se recomienda realizar el análisis con frecuencia horaria.
- ✓ Para el cálculo de disponibilidad se deben tener en cuenta las posibles ineficiencias y pérdidas de agua lluvia. Para esto, se debe considerar:
  - El coeficiente de escorrentía de la superficie de recolección.
  - La eficiencia del sistema de recolección: gravitacional o sifónico.
  - Las Pérdidas: evapotranspiración, fugas y primer lavado.
- ✓ Considerar los cambios en el régimen de precipitación en épocas secas y húmedas.
- ✓ Aplicar el método de doble masa para asegurar la consistencia de los datos de precipitación. Con este método se analiza la consistencia de la serie de valores de algún elemento hidrometeorológico medido en la estación "X", con base en los datos tomados en otra estación o grupo de estaciones "Y".
- ✓ Utilizar información histórica promedio de precipitación.



Se debe recolectar la información de la mejor fuente disponible. Se puede utilizar la base de datos del IDEAM, de las Empresas de Servicios Públicos, de las Corporaciones Autónomas Regionales, o de cualquier entidad que cuente con estaciones de medición cercanas al proyecto.



### Flujo: Agua de condensado HVAC

- ✓ Para determinar la disponibilidad de agua de condensado se recomienda conocer la cantidad de agua por tiempo generada en cada equipo y la cantidad de equipos del proyecto. Ver [Metodología de cálculo para disponibilidad de agua de condensación HVAC](#).
- ✓ Para la disponibilidad de agua de condensado en el tiempo, se debe considerar el cambio en la temperatura y la humedad según el patrón de ocupación y las actividades realizadas en la operación de cada proyecto.

### Flujo: Agua gris y servida

- ✓ Para determinar la disponibilidad de agua gris, se debe conocer el consumo de agua de las griferías y lavadoras que se utilizarán en el proyecto.
- ✓ Para determinar la disponibilidad de agua servida, se debe conocer el consumo de agua de los sanitarios, orinales y opcionalmente de los lavaplatos que se utilizarán en el proyecto.

### Demanda

- ✓ Se debe estimar el consumo de agua en cada uno de los usos finales del proyecto, tanto en interior como en exterior.
- ✓ Desde el diseño se deben definir los aparatos hidrosanitarios y los demás sistemas que consumen agua para poder calcular la demanda real del proyecto.
- ✓ En la medida de lo posible, se recomienda identificar los patrones de consumo y actividades del proyecto para determinar con mayor precisión la demanda del proyecto.
- ✓ Si se cuenta con información de la ocupación del proyecto se recomienda realizar un análisis estadístico para tener mayor precisión en el cálculo de la demanda. Ver [Metodología de cálculo para el ahorro de agua en aparatos sanitarios](#).



## Balance general del proyecto

Las posibles fuentes o flujos de entrada y de salida del balance hídrico general del proyecto se muestran en la siguiente figura.



Figura 7. Entradas y salidas para el balance hídrico del proyecto

Si se realiza reutilización de agua de condensado, agua gris o aguas servidas, la proporción reciclada deja de ser un flujo de salida del proyecto y pasa a ser otra fuente de abastecimiento.

Al realizar el balance hídrico del proyecto se debe identificar tanto la cantidad de agua potable y no potable demandada dentro del proyecto en los diferentes usos (teniendo en cuenta la calidad de agua requerida), como la disponibilidad de agua tanto del servicio de acueducto como de otras fuentes.

Para determinar si es necesario contar con balances hídricos por cada componente, se deben analizar todas las estrategias a implementar en un proyecto.

## Balance hídrico por componente

El diseño de muchos de los elementos o componentes de un sistema utilizados en la gestión de agua de un proyecto también deben considerar el balance hídrico. Estos componentes para gestión de la escorrentía pueden ser alcorques inundables, zanjas de infiltración, elementos de bio-retención, entre otros.

### Componentes para la gestión de escorrentía

Para aquellos componentes que tienen como objetivo principal la gestión de la escorrentía, se debe tener en cuenta que las variables hidrológicas e hidráulicas relevantes para el diseño varían según la estrategia utilizada para el manejo (Field & Taruri, 2005). Los flujos de entrada corresponden a la precipitación que cae directamente sobre el componente y la escorrentía que drena hacia el componente. Los flujos de salida dependerán del tipo de componente. Al tener en cuenta los flujos de entrada y salida, es posible determinar la cantidad de escorrentía que se puede gestionar.



Figura 8. Entradas y salidas para el balance hídrico por componente para la gestión de escorrentía

Los flujos de salida pueden variar dependiendo del tipo de componente, por ejemplo los techos cubiertos verdes no se tiene infiltración. Se pueden encontrar más detalles sobre el diseño de componentes en el capítulo [Estrategias de sostenibilidad para la gestión de la escorrentía](#).

### Metodología de cálculo para diseño de componentes para la gestión de escorrentía

Para el diseño de los componentes para la gestión de escorrentía se puede utilizar el caudal de tratamiento o el volumen de tratamiento. A continuación se presentan estas metodologías de diseño a partir de la “Guía Técnica de Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)” de la Universidad de los Andes (2017).

#### Diseño por caudal de tratamiento

Los componentes diseñados por caudal de tratamiento deben poder manejar caudales extremos de escorrentía asociados a periodos de retorno específicos. El caudal que se va a gestionar se puede calcular por medio de la siguiente fórmula racional:

$$Q_b = C \times I_b \text{ (m/s)} \times A \text{ (m}^2\text{)}$$

*Ecuación 18*





El caudal para el periodo de retorno  $b$  ( $Q_b$ ), depende del coeficiente de escorrentía de la superficie de recolección ( $C$ ), de la Intensidad de Lluvia ( $I_b$ ) y del área de drenaje ( $A$ ). Los valores de coeficiente de escorrentía dependen del tipo de área de drenaje, por lo que se puede realizar una ponderación de todas las áreas que drenan hacia el componente.

Por otro lado, el valor de intensidad de lluvia asociado a un periodo de retorno se calcula utilizando las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). Dichas curvas se obtienen del análisis de series históricas de precipitación y representan la magnitud de una lluvia extrema para una duración determinada con una frecuencia o periodo de retorno.

Mediante la obtención de estos valores y la aplicación del método racional es posible calcular el caudal de diseño con periodo de retorno específico. Cabe destacar que esta metodología también se utiliza para dimensionar los sistemas de distribución de agua lluvia, como ocurre con las bajantes horizontales y verticales desde las superficies de cubiertas de los proyectos. En este caso, se tiene un único coeficiente de escorrentía y el área de drenaje corresponde al área de cubierta que recibe el agua lluvia. Para estos diseños se utilizan usualmente periodos de retorno de dos o tres años.

### Diseño por volumen de tratamiento

Los componentes diseñados por volumen de tratamiento buscan reducir la contaminación arrastrada por la escorrentía. A diferencia del diseño por caudal crítico, estos componentes gestionan eventos de lluvia menos fuertes, pero más frecuentes, los cuales son causantes del mayor impacto en términos de calidad. Para esto, se debe definir el volumen de lluvia de tratamiento ( $V_C$ ), que se calcula con el coeficiente de escorrentía del área de drenaje ( $C$ ), la profundidad de lluvia ( $h_p$ ) y el área de drenaje ( $A$ ), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$V_C = C \times h_p \text{ (m)} \times A \text{ (m}^2\text{)}$$

*Ecuación 19*

Esta ecuación es el resultado de considerar áreas pequeñas de drenaje y de aplicar el método racional.

Es importante considerar que para la estimación de la profundidad de lluvia se debe contar con información histórica de precipitación horaria en las estaciones pluviométricas cercanas al proyecto, por lo que la posibilidad de usar esta metodología está sujeta a la disponibilidad de información.

## Componentes para almacenamiento y uso

Para las tecnologías que consideren la reutilización de agua se deben utilizar los nuevos flujos del balance hídrico. Por un lado, las nuevas fuentes de agua corresponden al agua de condensado, agua gris, agua servida y bypass de agua potable, mientras que las nuevas salidas corresponden a los consumos en los diferentes usos del proyecto.



Figura 9. Entradas y salidas para el balance hídrico por componente para almacenamiento y reúso

La estructura comúnmente utilizada que considera todos estos flujos es el tanque de agua del proyecto. En este punto es importante resaltar que el tanque también es considerado como un componente para la gestión de la escorrentía, pero cuando se considera la reutilización del agua lluvia, el diseño se centra en la disponibilidad del agua para el uso final. Además, existe la gestión de las otras fuentes de agua mencionadas.

En este caso, el balance hídrico permite identificar si las fuentes de agua disponibles son suficientes para abastecer las demandas consideradas del proyecto o si es necesario utilizar agua complementaria como un ingreso adicional de agua potable para garantizar el servicio. De esta forma, mediante un proceso de iteración de las variables de entrada y salida, es posible determinar el volumen ideal del almacenamiento teniendo en cuenta el uso final que se le dará al agua recuperada.

### Metodología de cálculo para el diseño de componentes para almacenamiento y uso

Los componentes diseñados para el almacenamiento y reutilización del agua deben considerar el análisis diario de oferta en las diferentes fuentes con la demanda en el uso final escogido. Cuando se evalúe el agua lluvia como fuente, el análisis de la demanda se debe realizar utilizando la precipitación diaria. Esto evita que se sobredimensione el volumen de almacenamiento, lo cual ocurriría si se diseña con el evento crítico de precipitación asociado a un periodo de retorno.

Mediante la herramienta del balance hídrico se puede realizar el análisis para la fuente de agua lluvia, de condensado, gris y servida.

Por otro lado, se debe conocer la cantidad de agua disponible en cada fuente de agua mencionada. Ver [Fuentes alternativas de suministro](#).



Los datos de precipitación, aunque se encuentran en medidas de milímetro en el sistema internacional, en realidad son una medición de volumen. Un milímetro (1 mm) de lluvia es la altura de la lámina de un litro (1 L) de agua sobre una superficie de un metro cuadrado (m<sup>2</sup>).



El volumen de agua lluvia que cae en el proyecto se calcula de acuerdo a las áreas del proyecto

$$\text{Volumen agua lluvia (L)} = \text{Precipitación (L/m}^2) \times \text{área (m}^2)$$

Ecuación 20

Para definir el volumen de almacenamiento se presentará una de las metodologías desarrolladas por Fewkes y Butler (2000) en "Modelado del desempeño de los sistemas de recolección de agua de lluvia: hacia un enfoque generalizado".

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t$$

Ecuación 21

En este modelo de comportamiento, se establece que el volumen en el tiempo ( $V_t$ ) debe considerar el volumen ya almacenado ( $V_{t-1}$ ), las nuevas entradas de agua ( $Q_t$ ) y las salidas por demanda del recurso ( $D_t$ ) al final del intervalo de tiempo establecido.

Ahora bien, considerando que el agua demandada es utilizada después que el almacenamiento recibe las entradas de agua ("Yield after spillage"), se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$Y_t = \min(D_t / V_{t-1})$$

Ecuación 22

$$V_T = \min(V_{t-1} + Q_t - Y_t / S - Y_t)$$

Ecuación 23

Donde el rendimiento ( $Y_t$ ) se calcula como el mínimo entre el volumen del intervalo anterior o la demanda del intervalo actual. Seguidamente, la entrada de agua se suma al volumen del intervalo anterior y se resta el rendimiento. Ahora bien, para encontrar el volumen de almacenamiento óptimo, se deben realizar varias iteraciones con volúmenes de tanque diferentes, con el fin de determinar la eficiencia en el almacenamiento de agua, la cual se puede establecer con la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia} = (\sum_{t=1}^T D_t - \sum_{t=1}^T M_t) / \sum_{t=1}^T D_t$$

Ecuación 23

Mediante esta ecuación es posible conocer la cantidad de agua ahorrada por la fuente en comparación con la demanda del uso final. El ahorro se mide al restarle la suma de la demanda no satisfecha ( $M_t$ ) a la demanda total. Posteriormente, con la relación entre este indicador y los volúmenes de almacenamiento definidos es posible encontrar el volumen óptimo del sistema. Cabe resaltar que la metodología expuesta es utilizada para la evaluación de la reutilización del agua lluvia, pero la variable de entrada de agua ( $Q_t$ ) podría incluir las fuentes de agua de condensado, gris y negra. Así mismo, se recomienda realizar el análisis diario para obtener resultados precisos y conservadores.

#### Ejemplo 11. Estimación volumen de tanque de agua lluvia para reúso en sanitarios

De acuerdo al régimen de lluvia en un proyecto con un área de recolección de 200 m<sup>2</sup>, se contaría con un volumen de agua lluvia disponible de\*:

Precipitación (mm)	Precipitación (mm)	Volumen de lluvia disponible (L)
jul-01	6,9	1380
jul-02	5,9	1180
jul-03	4,8	960
jul-04	6,5	1300
jul-05	5,3	1060
jul-06	4,6	920
jul-07	6,1	1220
jul-08	4	800

\*A efectos del ejemplo se muestra solo una semana por la longitud de datos.

El proyecto ha estimado una demanda en descarga de sanitarios diaria de 1.200 litros. Por lo que el volumen en el tiempo corresponde a:

Mes	Precipitación (mm)	Volumen de lluvia disponible (L)	Volumen para wc (L)	Volumen en el tiempo Vt (L)
jul-01	6,9	1380	1200	180
jul-02	5,9	1180	1200	160
jul-03	4,8	960	1200	-80
jul-04	6,5	1300	1200	100
jul-05	5,3	1060	1200	-40
jul-06	4,6	920	1200	-280
jul-07	6,1	1220	1200	20
jul-08	4	800	1200	-380

Los valores negativos indican un déficit en la suministro de agua para los sanitarios o demanda no satisfecha, por lo que no hay remanente de agua en el tanque ( $V_{t-1}$ ), para el día siguiente.

El proyecto ha realizado varias iteraciones para un año de operación esperada del proyecto, concluyendo que:

- Para recoger toda el agua lluvia posible (del área de 200 m<sup>2</sup>), se requiere de un tanque de 70 m<sup>3</sup>.
- Para satisfacer la demanda de agua para todos los sanitarios se requiere un almacenamiento de 37 m<sup>3</sup>. El proyecto estima que para satisfacer la demanda de riego se requiere un tanque de 8 m<sup>3</sup>.
- El proyecto evalúa contar con una cubierta verde extensiva con especies nativas para retener parte del agua lluvia y destinar únicamente la mitad de la cubierta para recolección (100 m<sup>2</sup>).
- Con todo lo anterior, el proyecto ha estimado un volumen de tanque óptimo de 30 m<sup>3</sup> para suministrar agua no potable para riego en primer piso y a los sanitarios de los primeros 5 pisos, y así contar con un espacio menor para el sistema y un menor bombeo.



9

## ESTUDIO DE CASO: FUTURE SEEDS - CIAT



Foto 7. Vista general CIAT. Créditos Green Loop

Uso: Banco de germoplasma
Ubicación: Palmira, Valle del Cauca, Colombia
Ocupación: 90 empleados tiempo completo y 15 visitantes diarios
Área lindero: 22.945,13 m <sup>2</sup>
Propietario: CIAT Consultor de Sostenibilidad: Green Loop Diseñador Hidrosanitario: Hidro F Salinas Constructor: Dimel

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) es parte del Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (CGIAR), la alianza más grande del mundo de organizaciones de investigación agrícola para el desarrollo. El CIAT es uno de sus quince centros miembro, y por lo tanto participa en diferentes Programas y Plataformas de Investigación del CGIAR, incluidos los bancos de germoplasma. El objetivo de estos bancos es conservar la diversidad de los recursos fitogenéticos en las colecciones mantenidas por CGIAR y poner esta diversidad a disposición de los mejoradores e investigadores de manera que cumpla con los altos estándares científicos internacionales.

Future Seeds o Semillas del Futuro es el nuevo hogar del banco de germoplasma del CIAT, está ubicado en Palmira, Valle del Cauca, Colombia y alberga unas 68.000 accesiones de frijol común, forrajes tropicales y yuca, cultivos que son una fuente vital de nutrición e ingresos para millones de pequeños agricultores alrededor del mundo.

A continuación se describe la aplicación de los pasos de la gestión sostenible y circular del agua en el proyecto, así como su resultado.

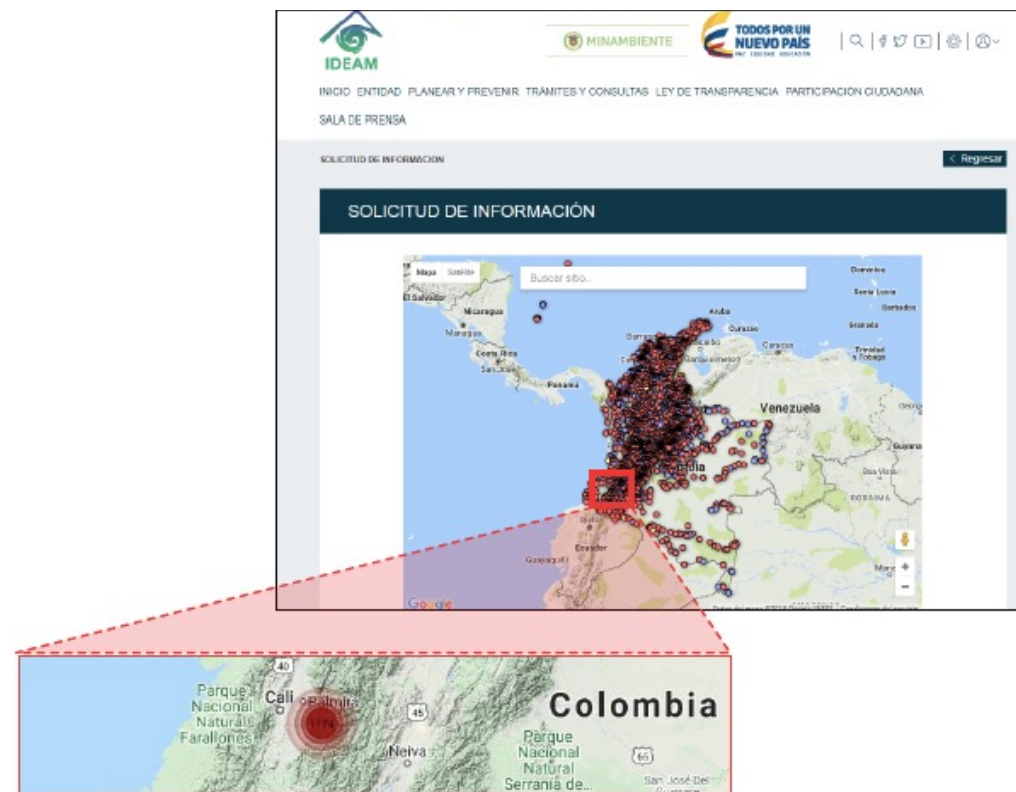


## PASO 1

### Metas del proyecto y condiciones del contexto

En respuesta a las preocupaciones sociales y ambientales actuales en el mundo, el proyecto Semillas del Futuro del CIAT busca ser el primer banco de germoplasma del mundo en construirse con certificación LEED para Nueva Construcción v4 – nivel Platino. Como tal, el proyecto debe contar con un diseño de edificio energéticamente eficiente y además busca ser Neto Cero en Agua (Water Net Zero) y no estar conectado a ningún sistema de servicios públicos para el suministro de agua potable.

Por la ubicación del proyecto, se cuenta con información de la estación meteorológica del IDEAM del Aeropuerto de Palmira



- Promedio de precipitación anual: 816,1 mm
- Días de lluvia al año: 74
- Frecuencia de evento: 4,91
- Promedio altura: 10,99 mm

En cuanto a las superficies del proyecto se cuenta con 2.575,55 m<sup>2</sup> de áreas duras, 14.604,31 m<sup>2</sup> de paisajismo y 5.765,27 m<sup>2</sup> de la cubierta del edificio.

## PASO 2

### Implementar estrategias para reducción de cargas

El proyecto tendrá consumo agua para aparatos sanitarios y un uso de agua para laboratorio y electrodomésticos. No contará con sistema de riego ni necesidad de agua para el paisajismo. Siguiendo la Metodología de cálculo para el ahorro de agua en aparatos sanitarios de la presente guía, se obtienen los siguientes resultados<sup>7</sup>:

#### 1. Definición de usos

Usos probables al día	Empleados	Visitantes
Sanitario	3 usos mujeres 1 uso hombres	0,5 usos mujeres 0,1 usos hombres
Orinal	2 usos hombres	0,4 usos hombres
Lavamanos	3 usos 0,5 minuto cada uso	0,5 usos 0,5 minuto cada uso
Ducha	0,1 uso 5 minutos cada uso	0
Lavaplatos	1 uso 0,25 minuto cada uso	0

#### 2. Caracterización de aparatos sanitarios

Hay diferentes tipos de baños para acomodar a cada empleado o visitante del proyecto: baños de hombres, baño de mujeres, baños para personas con discapacidad y un baño para todos los géneros. Todos los baños de hombres tienen orinales. Los baños para personas con discapacidad no tienen orinal.

<sup>7</sup> Los resultados se adaptan de la documentación presentada por el proyecto para la certificación LEED en español y con unidades del sistema internacional.



### 3. Asignación de usuarios

\* Para determinar el porcentaje de hombres que tendrán acceso a orinales, primero se define el porcentaje de hombres con discapacidad que van a estar en el edificio. Según las estadísticas nacionales de personas con discapacidad desarrollado por el Ministerio de Salud de Colombia, el 3% de la población nacional tiene condición de discapacidad, de los cuales 49% son hombres. Se puede deducir que la población que usaría el orinal corresponde al 98,53%.

Usos probables al día	Empleados	Visitantes
Sanitario	45 mujeres 45 hombres	7 mujeres 8 hombres
Orinal*	44,34 hombres	7,88 hombres
Lavamanos	90 (mujeres y hombres)	15 (mujeres y hombres)
Ducha	90 (mujeres y hombres)	0
Lavaplatos	90 (mujeres y hombres)	0

### 4. Estimar demanda línea base

Los datos para la línea base son los definidos por la guía LEED BD+C v4. A continuación se muestran los resultados:

Descarga						
Aparato sanitario	Descarga lpd	Empleados		Visitantes		Consumo diario Litros
		Población	Usos	Población	Usos	
Orinal	3,8	44,34	2	7,88	0,4	348,96
Sanitario hombre	6	45	1	8	0,1	274,8
Sanitario mujer	6	45	3	7	0,5	831
<b>Total</b>						<b>1.455</b>

Flujo							
Aparato sanitario	Flujo lpm	Duración min	Empleados		Visitantes		Consumo diario Litros
			Población	Usos	Población	Usos	
Lavamanos	1,9	0,5	90	3	15	0,5	263,6
Ducha	9,5	5	90	0,1	0	0	427,5
Lavaplatos	8,3	0,25	90	1	0	0	186,75
<b>Total</b>						<b>877,85</b>	

### 5. Estimar demanda propuesta

Se proponen aparatos sanitarios ahorradores y se obtienen los siguientes resultados:

Descarga						
Aparato sanitario	Descarga lpd	Empleados		Visitantes		Consumo diario Litros
		Población	Usos	Población	Usos	
Orinal	0,5	44,34	2	7,88	0,4	45,9
Sanitario hombre	4,8	45	1	8	0,1	219,84
Sanitario mujer	4,8	45	3	7	0,5	664,8
<b>Total</b>						<b>930,5</b>

Flujo							
Aparato sanitario	Flujo lpm	Duración min	Empleados		Visitantes		Consumo diario Litros
			Población	Usos	Población	Usos	
Lavamanos	1,32	0,5	90	3	15	0,5	183,15
Ducha	6,66	5	90	0,1	0	0	299,7
Lavaplatos	5,7	0,25	90	1	0	0	128,25
<b>Total</b>						<b>611,1</b>	

### 6. Calcular el ahorro por aparatos sanitarios propuestos

Para 270 días de funcionamiento al año se calcula un ahorro del 34% por la especificación de los aparatos sanitarios propuestos.

Consumo	Descarga	Duración min	Empleados			
Línea base anual	392.850	237.019,5	629.869,5	3	15	0,5
Propuesto anual	251.235	164.997	416.232	0,1	0	0
<b>Ahorro</b>	<b>36%</b>	<b>30%</b>	<b>34%</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>



En los 14.604,31 m<sup>2</sup> de paisajismo se especifican especies vegetales nativas y adaptadas, las cuales tienen un consumo de agua bajo a moderado una vez establecida la planta. Estas especies toleran periodos bimodales sin hidratación, por lo que su fuente de abastecimiento será únicamente la precipitación natural de la zona. Las especies (nombre común) se enuncian a continuación:



Foto 8. Muestra de especies especificadas. 1) Iraca, 2) Palma Rafis, 3) Calatea de hoja ancha, 4) Fangipan, 5) Palma McArthur. Créditos Green Loop

Iraca	Limoncillo	Cedro Amarillo	Guayacan Azul
Palma Rafis	Lantona	Caracolí	Guayacan Rosado
Calatea de hoja ancha	Mala Madre	Ceiba Verde	Guayacan Amarillo
Fangipan	Caladium	Chocho	Jacare
Palma McArthur	Siete cueros	Gualanday	Jagua
Zancona	Stippa	Ebano	Carbonero
Palma Chontaduro	Guasca	Cedro Trompillo G	Macondo
Palma Nidi	Viuda	Havano N	Mestizo
Dion	Penisetum	Piñon de oreja	Mulato
Bayoneta verde	Helecho Peine	Azahar de la india	Muli
Agave Puntudo	Acacia amarilla	Diomate	Olivo negro
Agave Variegado	Acacia roja	Bambu	Orejero
Agave de Punta Seco	Acacia Rosada	Guayacan Bola	Pacó
Pony Tail	Algarrobo	Carbonero	Saman
Agave Amarillo	Ariza	Casco de vaca	Mulato II
Palma Cyca de Hoja Larga	Cambulo	Trompillo	

Finalmente se tienen otros consumos asociados a electrodomésticos con el sello Energy Star (lavadora de ropa y máquina de hielo).

El proyecto también tiene una demanda específica de agua ionizada que es suministrada por el campus, como se indica en el Paso 4.

## PASO 3 los flujos naturales

De acuerdo con la Metodología de cálculo para la gestión de escorrentía descrita en esta guía, se obtienen los siguientes resultados:

### 1. Recolectar información

A partir de la información descrita en el Paso 1 de este proyecto, se cuenta con los datos de precipitación diaria desde enero de 1990. Por la longitud de los datos, a continuación solo se muestran los datos registrados de precipitación en julio 1996:

Fecha	Precipitación (mm)
Jul 1, 1996	3,2
Jul 16, 1996	3,9
Jul 20, 1996	7,4
Jul 21, 1996	8,5
Jul 25, 1996	5,5
Jul 28, 1996	2,7

### 2. Calcular el percentil

Precipitación total del evento de tormenta del percentil 80 (mm)	14,50
Precipitación total del evento de tormenta del percentil 85 (mm)	17,40
Precipitación total del evento de tormenta del percentil 90 (mm)	21,66
Precipitación total del evento de tormenta del percentil 95 (mm)	32,90
Precipitación total del evento de tormenta del percentil 98 (mm)	44,40
Precipitación total del evento de tormenta del percentil 100 (mm)	57,70

El proyecto gestionará el percentil 98, para obtener la puntuación objetivo para la certificación LEED, que corresponde a gestionar 44,4 mm.

### 3. Calcular volumen de lluvia dentro de la intervención del proyecto

Teniendo el área total del lindero, el volumen de lluvia del percentil 98 para el proyecto corresponde a 1.018,76 m<sup>3</sup>.



#### 4. Gestión del volumen de escorrentía en sitio

De acuerdo al Paso 1, este proyecto cuenta con diferentes superficies que generarán la siguiente escorrentía:

Tipo de superficie	Área (m2)	Coefficiente Escorrentía	Volumen (m3)
Suelo compacto CDW	918,47	0,45	18,4
Área concreto	1.059,39	0,825	38,8
Adoquín concreto	597,69	0,775	20,6
Zona verde caminable	2.862,64	0,18	22,8
Área verde nativa	10.129,69	0,15	67,5
Zona agricultura	1.611,98	0,3	21,5
<b>Total</b>	<b>22.945,13</b>	<b>-</b>	<b>420</b>



Foto 9. Superficies del proyecto. Crédito Green Loop

Adicionalmente a la gestión por las superficies del proyecto, este contará con:

- Un tanque de tormentas para captura de agua de la cubierta y otras áreas del proyecto de 133 m<sup>3</sup>.
- Dos tanques de agua de lluvia cruda, uno de ellos para almacenar agua lluvia para ser potabilizada y el otro para almacenar el agua para ser reusada. Los tanques son abastecidos por el tanque de tormentas y el agua recolectada por el techo. Cada tanque tiene una capacidad de almacenamiento de 3 m<sup>3</sup>.

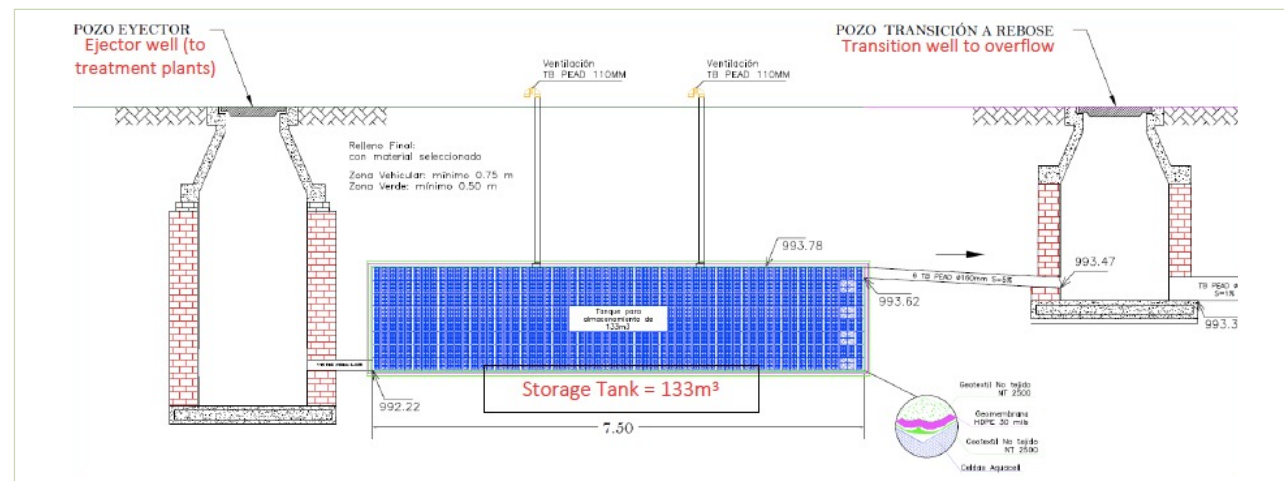


Foto 10. Tanques de agua lluvia. Créditos Green Loop



Figura 10. Ubicación del jardín de lluvia del proyecto. Credits Green Loop.

- El proyecto cuenta con un jardín de lluvia perimetral, con canal abierto y filtro francés en el fondo, encargado de recolectar el agua pluvial de las áreas verdes del proyecto. Estos canales permiten la infiltración natural del agua al suelo permeable, retienen temporalmente y transportan la escorrentía al alcantarillado pluvial del proyecto. El jardín de lluvia tiene una longitud total de 315 m.

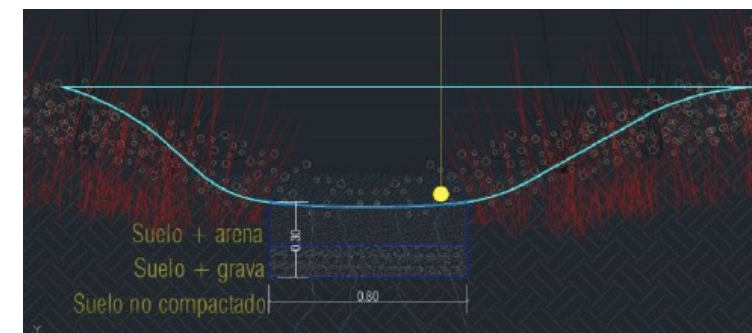


Figura 11. Sección del canal abierto del jardín de lluvia . Créditos Green Loop

- Los canales abiertos del jardín de lluvia tienen una sección de 0,95 m<sup>2</sup> y tienen una capacidad total de 299 m<sup>3</sup>.



El filtro francés se ubica en el fondo de los canales abiertos como se puede apreciar en la figura 11. La siguiente figura muestra los cálculos realizados para definir la capacidad de los filtros franceses:

Drain	b (m)	0.80	Soil	e	0.25	Vv (m <sup>3</sup> /m)	0.08	
	h (m)	0.30		Vv (m)	0.08		Longitud (m)	315.00
	A (m <sup>2</sup> )	0.24		Vt (m <sup>3</sup> /m)	0.08		Vv = Va (m <sup>3</sup> )	25.20

Figura 12. Cálculo filtro francés. Credits Green Loop

En resumen, sumando todas las estrategias el proyecto estará gestionando:

Estrategia	Volumen gestionado de escorrentía (m3)
Tanque de tormentas	133,00
Tanque agua lluvia para potabilizar	3,00
Tanque agua lluvia para reusar	3,00
Jardín de lluvia – canales abiertos	299,24
Jardín de lluvia – Filtro francés	25,20
<b>Volumen total de escorrentía gestionada en sitio</b>	<b>463,44</b>

De acuerdo a lo anterior, las estrategias del proyecto logran gestionar más del 100% de la escorrentía generada que corresponde a 420 m3.

## PASO 4 los flujos naturales

El proyecto evaluó como fuente alternativa el agua lluvia, para lo cual cuenta con:

- Un tanque de tormentas de 133 m3.
- Dos tanques de agua lluvia cruda de 3 m3 cada uno, uno para potabilizar y otro para reúso no potable.
- Dos tanques de agua lluvia tratada, cada uno de 6 m3. Uno para usos potables (lavamanos, lavaplatos y duchas) y el otro para usos no potables (sanitarios y orinales).

De acuerdo con el Paso 2, el proyecto tiene una demanda total de 1.541,6 litros diarios de agua. A continuación se muestra el balance del almacenamiento de agua lluvia:

Mes	Volumen de agua lluvia almacenada (m3/mes)	Total de agua lluvia usada (m3/mes)
Enero	101,27	34,45
Febrero	132,91	33,31
Marzo	140,06	35,60
Abril	147,44	34,45
Mayo	142,19	35,60
Junio	128,16	34,45
Julio	121,55	35,60
Agosto	133,43	35,60
Septiembre	136,27	34,45
Octubre	150,64	35,60
Noviembre	149,83	34,45
Diciembre	140,24	35,60

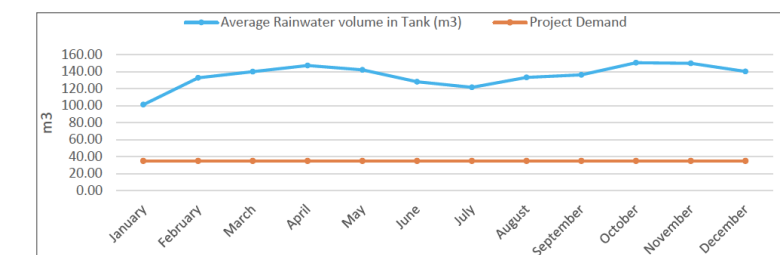


Figura 13. Agua lluvia disponible y agua demanda. Créditos Green Loop.





Con los tanques y el sistema de tratamiento definido para el proyecto se abastece el 100% del agua requerida en todos los aparatos sanitarios.



Foto 11. Tanques y sistema de tratamiento para agua lluvia. Créditos Green Loop.

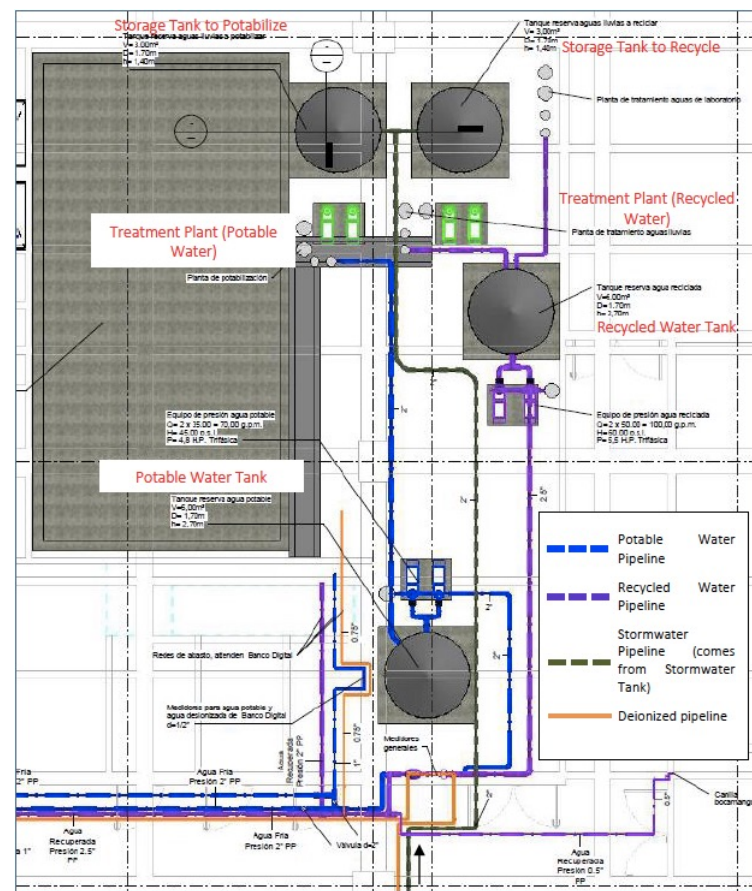


Figura 14. Plantas de tratamiento agua lluvia, tanque de agua potable y tanque para usos no potables. Créditos Green Loop.

## PASO 5

### Integrar estrategias para mejorar la calidad del vertido

Finalmente, el proyecto cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) dentro de los límites del proyecto. El agua ya tratada es infiltrada para cerrar el ciclo hidrológico del sitio.

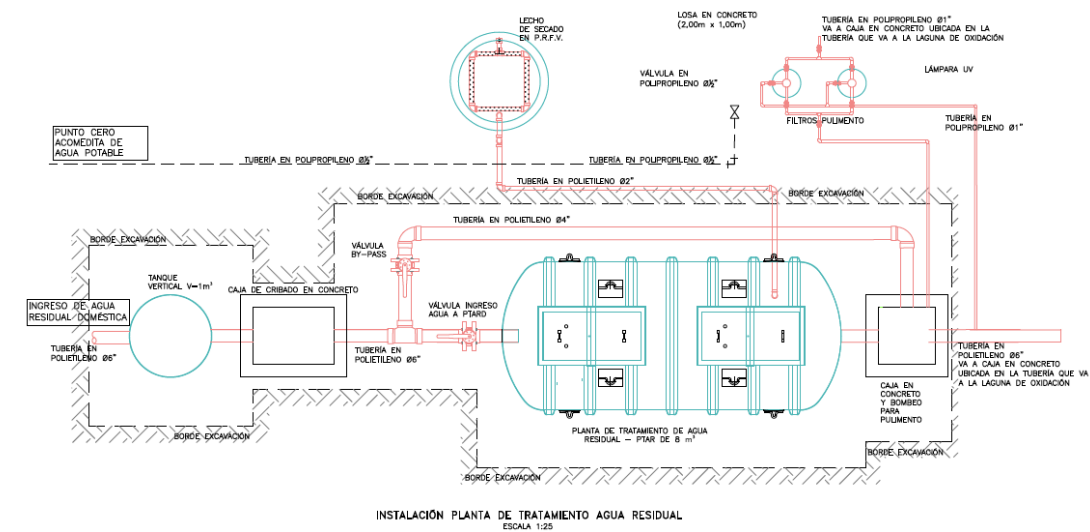


Figura 15. Esquema de la PTAR proyecto CIAT. Créditos Green Loop.

## Resultados

Siguiendo todos los pasos anteriores el proyecto logra cumplir las metas de gestión del agua dentro del proyecto.

- Por la especificación de aparatos sanitarios ahorradores, el proyecto tendrá un 34% de ahorro respecto a la línea base indicada en LEED v4 para el consumo de agua interior.
- Por la especificación de especies nativas y adaptadas, el proyecto tendrá un 100% de ahorro respecto a tener otro tipo de paisajismo y contar con un sistema de riego.
- El uso de electrodomésticos eficientes con sello Energy Star garantizan la eficiencia en el consumo sin comprometer la calidad técnica de los equipos.
- Con la implementación de SUDS y reúso de agua lluvia, el proyecto logra gestionar la escorrentía del percentil 98 dentro del lindero del proyecto.
- Con el sistema de recolección y tratamiento de aguas lluvias, el proyecto logra suplir el 100% del consumo de agua en el proyecto.
- Para mejorar la calidad del vertido de aguas residuales, se cuenta con una planta de tratamiento para infiltración, cerrando el ciclo hidrológico dentro del proyecto.



10



## BIBLIOGRAFÍA

- NS-166: Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). Recuperado de: <https://www.cccs.org.co/wp/download/1-ns-166-criterios-para-disen%cc%83o-y-construccion-de-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-pdf/?wpdmdl=15970&refresh=61dee7cbcd59c1641998283>
- ICONTEC (2020). Norma Técnica Colombiana NTC-1500: Instalaciones hidráulicas y sanitarias. (Cuarta actualización). Recuperado de <https://ecollection-icontec-org.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/normavw.aspx?ID=79666>
- IDEAM. (2019). Estudio Nacional del Agua. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, Bogotá D.C. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023858/023858.html>
- IDEAM Programas de manejo integrado para el control de plagas. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005247/HTM/CAPITULO\\_5.HTM#:~:text=El%20Manejo%20Integrado%20de%20plagas,productos%20\(Cancelado%2C%202.000\)](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005247/HTM/CAPITULO_5.HTM#:~:text=El%20Manejo%20Integrado%20de%20plagas,productos%20(Cancelado%2C%202.000))
- Jardín Botánico de Bogotá D.C. y Universidad de los Andes (2020). Manual de Coberturas Vegetales de Bogotá D.C. (Ediciones Uniandes).
- Resolución 0549 de 2015. [Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio]. Por la cual se reglamenta el Capítulo 1 del Título 7 de la parte 2, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones. 10 de julio de 2015.
- Resolución 1256 de 2021. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones. 23 de noviembre de 2021.
- Resolución 1575 de 2007. [Ministerio de Protección Social]. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 9 de mayo de 2007.
- Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (2021). Infraestructura Vegetada. Techos verdes y jardines verticales. Guía Práctica. Recuperado de <https://ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/Gu%C3%ADa+Tecnica+Infraestructura+Vegetada+2021.pdf/077e3693-e9ff-4f8f-b506-9effa7b57494>
- 7 Group, & Reed, B. (2009). The Integrative Design Guide to green Building. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Allen, L. (2015). Manual de diseño para manejo de aguas grises. Greywater Action, 58. Retrieved from <http://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/finalGWmanual-esp-5-29-15.pdf>
- Aparicio, F. J. (1992). Fundamentos de Hidrología de Superficie [Figura] (Grupo Noriega Editores, Ed.). Balderas: Limusa.
- Avila, Humberto; Sisa, Augusto; Alba, Tatiana De; Avila, Leandro. Characterization and Strategies for Implementing Sustainable Urban Drainage Systems in Consolidated Cities with High Flood Risk. Case Study: Barranquilla - Colombia
- Ballén, J. A., Galarza, M. Á., & Ortiz, R. O. (2006). Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia Para Vivienda Urbana. VI SEREA-Seminário Iberoamericano Sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Água, João Pessoa. VI SEREA. Retrieved from [http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/resumo\\_viserea.pdf%5Cnhttp://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoS\(1\).pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/resumo_viserea.pdf%5Cnhttp://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoS(1).pdf)
- Baxter, S. S. (1968). Effects of Urbanization. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 4(1), 51-56. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1968.tb02903.x>
- Bobadilla, Rosales & Pino (2021). Captación de niebla como fuente de agua en el Distrito de Las Minas, región de Azuero: Caso de estudio Distrito De Las Minas. Universidad Tecnológica de Panamá. Recuperado de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/2455/3669>
- Bohórquez, LA (2019). Diseño de un equipo para recolección de agua potable en zonas con alta densidad de niebla. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12495/6200>.
- Brooks, K. N., Ffolliott, P. F., & Magner, J. A. (2012). Hydrologic Cycle and The Water Budget. In Hydrology and the Management of Watershed (Fourth Edi, pp. 27-48). <https://doi.org/10.1002/9781118459751.ch2>
- 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, Vol. 105, pp. 230-240. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.12.012>
- Buzzle. (2019). Distilled Water pH Level. Retrieved September 19, 2019, from <https://sciencestruck.com/distilled-water-ph-level>
- Céspedes, L. (2017) Captura de agua de niebla, para consumo familiar. Instituto de captación del oriente y Zabalketa. Recuperado de <https://ico-bo.org/wp-content/uploads/2017/08/ATRAPANIEBLA-FINAL-ICO1.pdf>
- Delgrosso, Z. L., Hodges, C. C., & Dymond, R. L. (2019). Identifying Key Factors for Implementation and Maintenance of Green Stormwater Infrastructure. Journal of Sustainable Water in the Built Environment, 5(3), 1-12. <https://doi.org/10.1061/JSWBAY.0000878>
- Department of Irrigation and Drainage. (2012). Urban Stormwater Management Manual for Malaysia. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2012.06.005>
- Díaz, M., Camacho, L. A., Rodríguez, J. P., Vargas, H., Pinilla, M., Giraldo, C., ... Maestre, A. (2017). Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Control, 3(Febrero).



- EPA. (2012). Guidelines for Water Reuse. (September).
- Fane, S. (2009). Wastewater Reuse. 419-424.
- Field, R., & Taruri, A. N. (2005). The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds. (September), 268.
- Glawe, D. (2013). San Antonio Condensate Collection and Use Manual for Commercial Buildings. San Antonio Water System.
- Izquierdo, M. L., & Madroñero, S. M. (2014). Régimen de Caudal Ecológico, Herramienta de Gestión para Conservar la Biota Acuática. 23-2. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v23n2/v23n2a05.pdf>
- Jiménez Ariza, S. L., Martínez, J. A., Muñoz, A. F., Quijano, J. P., Rodríguez, J. P., Camacho, L. A. and Díaz-Granados, M. (2019). A Multicriteria Planning Framework to Locate and Select Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) in Consolidated Urban Areas. Sustainability 11(8), 2312. (doi: 10.3390/su11082312)
- Kinkade-Levario, H. (2007). Design for Water - Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment and Alternate Water Reuse.
- Lesikar, B., Melton, R., Smith, D., & Neill, C. O. (2015). On-Site Wastewater Treatment Systems: Graywater. (May).
- Mechell, J., Kniffen, B., Lesikar, B., Kingman, D., Jaber, F., Alexander, R., & Clayton, B. (2009). Rainwater Harvesting: System Planning. Retrieved from <http://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/Rainwater-Harvesting-System-Practitioner-Manual.pdf>
- Mendoza, B. & Castañeda, F. (2014) Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal. Universidad Católica de Colombia. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1748/1/Atrapanieblas%20B.%20Mendoza%20F.%20Casta%C3%B1eda.pdf>
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico - PNGIRH.
- Naeimi, G., & Safavi, H. R. (2019). Integrated Stormwater and Groundwater Management in Urban Areas, a Case Study. International Journal of Civil Engineering, Vol. 17, pp. 1281-1294. <https://doi.org/10.1007/s40999-018-0386-9>
- Office of Water U.S. Environmental Protection Agency. (2012). WaterSense at Work: Best Management Practices for Commercial and Institutional Facilities. Water Sense, 308. [https://doi.org/EPA\\_832-F-12-034](https://doi.org/EPA_832-F-12-034)
- Pascual-Aguilar, Juan & Naranjo, Maria & Payano, Reynaldo & Medrano Perez, Ojilve Ramon. (2011). TECNOLOGÍA PARA LA RECOLECCIÓN DE AGUA DE NIEBLA. 10.13140/RG.2.1.4806.7048. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/257199788\\_TECNOLOGIA\\_PARA\\_LA\\_RECOLECCION\\_DE\\_AGUA\\_DE\\_NIEBLA/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/257199788_TECNOLOGIA_PARA_LA_RECOLECCION_DE_AGUA_DE_NIEBLA/citation/download)
- Philadelphia Water Department. (2014). Stormwater Management Guidance Manual. (July).
- Texas Agricultural Extension Service. (1994). Xeriscape - Landscape Water Conservation. (B-1584).
- Texas Water Development Board. (2005). The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Texas Water Development Board, 1(3a), 88. <https://doi.org/10.1007/s10350-008-9244-1>
- Universidad de los Andes, Acueducto de Bogotá, Secretaria de Ambiente de Bogotá. (2017). Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). [https://issuu.com/sda2015/docs/gu\\_a\\_t\\_cnica\\_de\\_dise\\_o\\_y\\_construcci](https://issuu.com/sda2015/docs/gu_a_t_cnica_de_dise_o_y_construcci)
- Uribe-Aguado, J., Jiménez-Ariza, S. L., Torres, M. N., Bernal, N. A., Giraldo-Gonzalez, M. and Rodríguez, J. P. (2022). A SUDS planning decision support tool to maximize ecosystem services. Sustainability 14(8), 4560. (doi.org/10.3390/su14084560)
- Wang X.C., Zhang C., Ma X., L. L. (2015). Concepts of Water Cycle Management for Water Reuse System Design. In: Water Cycle Management. In Water Cycle Management. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-45821-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45821-1_2)
- Ward, S., Memon, F. A., & Butler, D. (2010). Rainwater harvesting: Model-based design evaluation. Water Science and Technology, 61(1), 85-96. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.783>
- Wright, M. (1996). Safe Use of Household Greywater. Guide M-106. New Mexico.



10

## APÉNDICE A: MARCO NORMATIVO

Colombia cuenta con una larga trayectoria en instrumentos normativos para la gestión del recurso hídrico. Se destaca la evolución en el cuidado de los ecosistemas, la salud humana, la sostenibilidad y la circularidad del recurso. Desde el Decreto – Ley 2811 de 1974 Código Nacional de Recursos Naturales Renovables, en el país se inicia el marco regulatorio moderno para el manejo de los recursos naturales renovables, incluido el agua.

En la última década se han desarrollado diferentes documentos de política pública que establecen metas, estrategias y acciones relacionadas con la gestión sostenible y circular del agua en edificaciones, las cuales dan un marco general de hacia dónde debe dirigirse el país y el sector de la construcción.

2018	2019	2020
<p><b>CONPES 3934. Política de Crecimiento Verde</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Impulsar a 2030 el aumento de la productividad y la competitividad económica del país, al tiempo que se asegura el uso sostenible del capital natural y la inclusión social, de manera compatible con el clima.</li></ul> <p><b>CONPES 3918. Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia.</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Definir la estrategia de implementación de los ODS en Colombia, estableciendo el esquema de seguimiento, reporte y rendición de cuentas, el plan de fortalecimiento estadístico, la estrategia de implementación territorial y el mecanismo de interlocución con actores no gubernamentales.</li></ul> <p><b>CONPES 3919. Política nacional de edificaciones sostenibles.</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Impulsar la inclusión de criterios de sostenibilidad para todos los usos y dentro de todas las etapas del ciclo de vida de las edificaciones a través de ajustes normativos, el desarrollo de mecanismos de seguimiento y la promoción de incentivos económicos, que contribuyan a mitigar los efectos negativos de la actividad edificadora sobre el ambiente, mejorar las condiciones de habitabilidad y generar oportunidades de empleo e innovación.</li></ul>	<p><b>Estrategia nacional de economía circular</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Propende por un nuevo modelo de desarrollo económico que incluye la valorización continua de los recursos, el cierre de ciclos de materiales, agua y energía, la creación de nuevos modelos de negocio, la promoción de la simbiosis industrial y la consolidación de ciudades sostenibles, con el fin, entre otros, de optimizar la eficiencia en la producción y consumo de materiales, y reducir la huella hídrica y de carbono.</li></ul>	<p><b>CONPES 4004. Economía circular en la gestión de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales.</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Implementar un modelo de economía circular y desarrollar mecanismos de gestión de la información en la prestación de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales para garantizar la disponibilidad de agua en el largo plazo, y la prestación de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales en condiciones de calidad y continuidad.</li></ul>

Figura 16. Contexto de política pública y regulaciones para la gestión sostenible del recurso hídrico



A continuación se desglosan las normas por objetivos específicos en vertidos, uso eficiente y ahorro de agua, y reúso.

## Vertimientos

1979

Ley 9, Código Sanitario Nacional, establece los procedimientos y las medidas para llevar a cabo la regulación y control de los vertimientos

1984

Se expidió el Decreto 1594, en el que se definieron los límites permisibles para el vertimiento o descarga de residuos líquidos a un cuerpo de agua o alcantarillado sanitario

2015

Decreto 1076 de 2015 “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible” Resolución 0631 de 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”

## Uso eficiente y ahorro de agua

1997

Ley 373 “Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua”

2002

Dirección General Sectorial del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial publicó la Guía de ahorro y uso eficiente del agua, la cual incluyó estrategias para el ahorro y uso eficiente del agua

2010

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial publicó la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, en la que se estableció como uno de sus principios el “ahorro y uso eficiente”

2015

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio expide la Resolución 0549 donde se adopta la Guía de Construcción Sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones, en la cual se definen unos porcentajes de ahorro mínimos obligatorios.

2018

MinAmbiente expidió el Decreto 1090 y la Resolución 1257, y elabora una guía para el uso eficiente y ahorro del agua.

## Reúso de agua

2014

Resolución 1207 Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas

2015

Decreto 1077 fue modificado por medio el Decreto 1285 que en su título 7 establece la urbanización y construcción sostenible, y se generaron medidas orientadas al consumo eficiente del agua en las edificaciones por medio de la Resolución 0549.

2021

Minambiente expide Resolución 1256, la cual introduce y reglamenta en el Artículo 3 la “recirculación”, explicando que esta no requiere permiso o autorización, siempre y cuando sea viable técnica y económicamente

La gestión sostenible y circular del agua ha permeado también a las normas y reglamentos técnicos, incluyendo consideraciones desde la demanda de agua por aparatos sanitarios y el diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. A continuación se muestran las principales:

- Norma Técnica Colombiana (NTC) 1500 Código Colombiano de Fontanería
- Reglamento Técnico de Tuberías y sus Accesorios (RETHISA)
- Desde el marco normativo, la Resolución 799 de 2021, que define el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS, establece que: *“Artículo 153. Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Para nuevos desarrollos urbanos, donde se modifique la cobertura del suelo, se deben generar estrategias con el fin de mitigar el efecto de la impermeabilización de las áreas en el aumento de los caudales de escorrentía. Para esto, se debe evaluar la viabilidad de implementar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – SUDS. Se deberá tener en cuenta las condiciones de la zona en la que se va a construir, las áreas tributarias de los SUDS a diseñar y el sistema que se proyecte para la recolección, evacuación y disposición de las aguas lluvias...”*
- NS-166 Criterios para diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

Adicionalmente, dentro de las metodologías de proyectos tipo del Departamento Nacional de Planeación – DNP (2018), se incluyen los “Lineamientos para el diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible”, con una visión desde el sector ambiental.



# APÉNDICE B: GRÁNULOS DE HUMEDAD POR PIE CÚBICO DE AIRE

Tabla 6. Gránulos de humedad por pie cúbico de aire

GRAINS OF MOISTURE PER CUBIC FOOT OF AIR																				
		Relative Humidity																		
		45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100							
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
40	0.135	0.269	0.404	0.538	0.673	0.807	0.942	1.076	1.211	1.346	1.480	1.615	1.749	1.884	2.018	2.153	2.287	2.422	2.556	2.691
41	0.139	0.278	0.416	0.555	0.694	0.833	0.972	1.110	1.249	1.388	1.527	1.666	1.804	1.943	2.082	2.221	2.360	2.498	2.637	2.776
42	0.143	0.287	0.430	0.574	0.717	0.860	1.004	1.147	1.290	1.434	1.577	1.721	1.864	2.007	2.151	2.294	2.437	2.581	2.724	2.868
43	0.148	0.297	0.445	0.593	0.741	0.890	1.038	1.186	1.335	1.483	1.631	1.779	1.928	2.076	2.224	2.373	2.521	2.669	2.818	2.966
44	0.154	0.307	0.461	0.614	0.768	0.921	1.075	1.228	1.382	1.535	1.689	1.842	1.996	2.149	2.302	2.456	2.610	2.764	2.917	3.071
45	0.159	0.318	0.477	0.636	0.796	0.955	1.114	1.273	1.432	1.591	1.750	1.909	2.068	2.227	2.387	2.546	2.705	2.864	3.023	3.182
46	0.165	0.330	0.495	0.660	0.825	0.990	1.155	1.320	1.485	1.650	1.815	1.980	2.145	2.310	2.475	2.640	2.805	2.970	3.135	3.300
47	0.171	0.342	0.514	0.685	0.856	1.027	1.199	1.370	1.541	1.712	1.884	2.055	2.226	2.397	2.568	2.740	2.911	3.082	3.253	3.425
48	0.178	0.356	0.533	0.711	0.889	1.067	1.246	1.422	1.600	1.778	1.956	2.133	2.311	2.489	2.667	2.845	3.022	3.200	3.378	3.556
49	0.185	0.369	0.554	0.739	0.923	1.108	1.298	1.477	1.662	1.847	2.031	2.216	2.401	2.586	2.770	2.955	3.140	3.324	3.509	3.694
50	0.192	0.384	0.576	0.768	0.960	1.151	1.343	1.535	1.727	1.919	2.111	2.303	2.495	2.687	2.879	3.070	3.262	3.454	3.646	3.838
51	0.199	0.399	0.598	0.798	0.997	1.197	1.396	1.596	1.795	1.995	2.194	2.393	2.593	2.792	2.992	3.191	3.391	3.590	3.790	3.989
52	0.207	0.415	0.622	0.829	1.037	1.244	1.451	1.659	1.866	2.073	2.281	2.488	2.695	2.903	3.110	3.317	3.525	3.732	3.939	4.147
53	0.216	0.431	0.647	0.862	1.078	1.293	1.509	1.724	1.940	2.155	2.371	2.586	2.802	3.018	3.233	3.449	3.664	3.880	4.095	4.311
54	0.224	0.448	0.672	0.896	1.120	1.344	1.569	1.793	2.017	2.241	2.465	2.689	2.913	3.137	3.361	3.585	3.809	4.033	4.258	4.482
55	0.233	0.466	0.699	0.932	1.165	1.398	1.631	1.864	2.097	2.330	2.562	2.795	3.028	3.261	3.494	3.727	3.960	4.193	4.426	4.659
56	0.242	0.484	0.726	0.969	1.211	1.453	1.695	1.937	2.179	2.422	2.664	2.906	3.148	3.390	3.632	3.874	4.117	4.359	4.601	4.843
57	0.252	0.503	0.755	1.007	1.258	1.510	1.762	2.013	2.265	2.517	2.768	3.020	3.272	3.524	3.775	4.027	4.279	4.530	4.782	5.034
58	0.262	0.523	0.785	1.046	1.308	1.569	1.831	2.092	2.354	2.615	2.877	3.138	3.400	3.662	3.923	4.185	4.446	4.708	4.969	5.231
59	0.272	0.543	0.815	1.087	1.359	1.630	1.902	2.174	2.446	2.717	2.989	3.261	3.532	3.804	4.076	4.348	4.619	4.891	5.163	5.435
60	0.282	0.565	0.847	1.129	1.411	1.694	1.976	2.258	2.540	2.823	3.105	3.387	3.669	3.952	4.234	4.516	4.798	5.080	5.363	5.645
61	0.293	0.586	0.879	1.172	1.466	1.759	2.052	2.345	2.638	2.931	3.224	3.517	3.810	4.103	4.397	4.690	4.983	5.276	5.569	5.862
62	0.304	0.609	0.913	1.217	1.521	1.826	2.130	2.434	2.739	3.043	3.347	3.651	3.956	4.260	4.564	4.868	5.173	5.477	5.781	6.086
63	0.316	0.632	0.947	1.263	1.579	1.895	2.211	2.526	2.842	3.158	3.474	3.789	4.105	4.421	4.737	5.053	5.368	5.684	6.000	6.316
64	0.328	0.655	0.983	1.311	1.638	1.966	2.293	2.620	2.949	3.276	3.604	3.932	4.259	4.587	4.914	5.242	5.570	5.897	6.225	6.553
65	0.340	0.680	1.019	1.359	1.689	2.039	2.379	2.718	3.058	3.398	3.738	4.078	4.417	4.757	5.097	5.437	5.777	6.116	6.456	6.796
66	0.352	0.705	1.057	1.409	1.762	2.114	2.466	2.818	3.171	3.523	3.875	4.228	4.580	4.932	5.285	5.637	5.989	6.341	6.694	7.046
67	0.365	0.730	1.095	1.461	1.826	2.191	2.556	2.921	3.286	3.651	4.016	4.382	4.747	5.112	5.477	5.842	6.207	6.572	6.937	7.303
68	0.378	0.757	1.135	1.513	1.891	2.270	2.648	3.026	3.405	3.783	4.161	4.539	4.918	5.296	5.674	6.053	6.431	6.809	7.188	7.566
69	0.392	0.784	1.175	1.567	1.959	2.351	2.742	3.134	3.526	3.918	4.310	4.701	5.093	5.485	5.877	6.268	6.659	7.050	7.441	7.833
70	0.406	0.811	1.217	1.622	2.028	2.434	2.839	3.245	3.650	4.056	4.462	4.867	5.273	5.678	6.084	6.490	6.895	7.301	7.706	8.112

Temperature - Degrees F

71	0.420	0.840	1.259	1.679	2.099	2.519	2.938	3.358	3.778	4.198	4.617	5.037	5.457	5.877	6.296	6.716	7.136	7.556	7.975	8.395
72	0.434	0.868	1.303	1.729	2.171	2.605	3.040	3.474	3.908	4.342	4.777	5.211	5.645	6.079	6.513	6.948	7.382	7.816	8.250	8.685
73	0.449	0.898	1.347	1.796	2.245	2.694	3.143	3.592	4.041	4.490	4.939	5.388	5.838	6.287	6.736	7.185	7.634	8.083	8.532	8.981
74	0.464	0.928	1.391	1.857	2.321	2.785	3.249	3.713	4.178	4.642	5.106	5.570	6.034	6.499	6.963	7.427	7.891	8.355	8.819	9.284
75	0.480	0.959	1.439	1.919	2.398	2.878	3.358	3.827	4.297	4.767	5.236	5.705	6.174	6.643	7.112	7.581	8.050	8.519	8.988	9.457
76	0.495	0.991	1.486	1.982	2.477	2.973	3.468	3.944	4.419	4.894	5.369	5.844	6.319	6.794	7.269	7.744	8.219	8.694	9.169	9.644
77	0.512	1.023	1.535	2.046	2.558	3.069	3.581	4.093	4.604	5.116	5.627	6.139	6.651	7.162	7.674	8.185	8.697	9.208	9.720	10.232
78	0.528	1.056	1.584	2.112	2.640	3.168	3.696	4.224	4.753	5.280	5.808	6.336	6.865	7.393	7.921	8.449	8.977	9.505	10.033	10.561
79	0.545	1.090	1.634	2.179	2.724	3.269	3.814	4.359	4.903	5.448	5.993	6.538	7.083	7.628	8.172	8.717	9.262	9.807	10.352	10.897
80	0.562	1.124	1.686	2.248	2.810	3.372	3.934	4.496	5.058	5.620	6.181	6.743	7.305	7.867	8.429	8.991	9.553	10.115	10.677	11.239
81	0.579	1.159	1.738	2.318	2.897	3.476	4.056	4.635	5.215	5.794	6.373	6.953	7.532	8.112	8.691	9.270	9.850	10.429	11.009	11.588
82	0.597	1.194	1.792	2.389	2.986	3.580	4.180	4.777	5.375	5.972	6.569	7.166	7.763	8.361	8.958	9.555	10.152	10.749	11.346	11.944
83	0.615	1.231	1.846	2.461	3.076	3.692	4.307	4.922	5.538	6.153	6.768	7.383	7.999	8.614	9.229	9.845	10.460	11.075	11.691	12.306
84	0.634	1.267	1.901	2.535	3.169	3.802	4.438	5.053	5.674	6.295	6.916	7.537	8.158	8.779	9.399	10.019	10.639	11.259	11.879	12.499
85	0.653	1.305	1.956	2.610	3.263	3.915	4.566	5.200	5.823	6.446	7.069	7.692	8.315	8.938	9.561	10.184	10.807	11.430	12.053	12.676
86	0.672	1.343	2.015	2.686	3.358	4.028	4.701	5.373	6.044	6.716	7.388	8.059	8.731	9.402	10.074	10.746	11.417	12.089	12.760	13.432
87	0.691	1.382	2.073	2.764	3.455	4.146	4.837	5.528	6.219	6.910	7.601	8.292	8.983	9.674	10.365	11.056	11.746	12.437	13.128	13.819
88	0.711	1.422	2.132	2.843	3.554	4.265	4.976	5.685	6.397	7.108	7.819	8.529	9.240	9.951	10.662	11.373	12.083	12.794	13.505	14.216
89	0.731	1.462	2.193	2.924	3.654	4.385	5.116	5.847	6.578	7.309	8.040	8.771	9.501	10.232	10.963	11.694	12.425	13.156	13.887	14.618
90	0.751	1.503	2.254	3.005	3.757	4.506	5.259	6.010	6.762	7.513	8.264	9.016	9.767	10.518	11.270	12.021	12.772	13.523	14.275	15.026
91	0.772	1.544	2.316	3.088	3.860	4.632	5.404	6.176	6.948	7.721	8.493	9.265	10.037	10.809	11.581	12.353	13.125	13.897	14.669	15.441
92	0.793	1.586	2.379	3.173	3.966	4.759	5.552	6.345	7.138	7.931	8.724	9.518	10.311	11.104	11.897	12.690	13.483	14.276	15.069	15.863
93	0.815	1.629	2.444	3.258	4.073	4.887	5.702	6.516	7.331	8.145	8.960	9.774	10.589	11.404	12.218	13.033	13.847	14.662	15.476	16.291
94	0.836	1.673	2.509	3.345	4.181	5.018	5.854	6.690	7.527	8.363	9.199	10.035	10.872	11.708	12.544	13.380	14.217	15.053	15.889	16.726
95	0.858</																			



© Consejo Colombiano de Construcción Sostenible 2021  
Todos los derechos reservados.  
Dir. de correspondencia: Carrera 7 # 71-21  
Edificio Avenida Chile, Torre A, Piso 5. AA 110231  
Bogotá, Colombia  
[www.cccs.org.co](http://www.cccs.org.co)