



# Guía de soluciones naturales y basadas en la naturaleza para el manejo de aguas pluviales en Puerto Rico

Mayo de 2024



FEMA

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

**Preparado para:**

Oficina de Recuperación Conjunta (JRO, por sus siglas en inglés) de FEMA  
50 State Road PR-165, 2<sup>nd</sup> Floor, West Wing  
Guaynabo, Puerto Rico

**Preparado por:**

AECOM  
19219 Katy Freeway, Suite 100  
Houston, TX 77094  
aecom.com

**Advertencia:**

Todo el contenido provisto en este documento es solo para fines educativos. FEMA no provee asesoramiento o datos técnicos o de ingeniería profesional a los solicitantes de subvenciones, y ninguna de la información o los ejemplos provistos en este documento se interpretará como tal. Los solicitantes deben desarrollar sus paquetes de solicitud con información, experiencia y datos obtenidos de forma independiente y específicos del proyecto. La información educativa provista en este documento se ofrece de forma general, hipotética y “tal cual”, sin garantías de exhaustividad, precisión, utilidad u oportunidad. Al tomar determinaciones de elegibilidad, FEMA considera solicitudes de subvención completas que contienen toda la información requerida, para garantizar que las actividades propuestas cumplan con todos los requisitos estatutarios, reglamentarios y programáticos aplicables.

Colaboradores: The Nature Conservancy y Protectores de Cuencas, Inc.

FEMA desea reconocer a The Nature Conservancy y a Protectores de Cuencas Inc. por su colaboración y apoyo durante el desarrollo de esta guía. Otros reconocimientos: Arquitecto Fernando Abruña-Charneco, doctorado, FAIA, de Abruña & Musgrave, arquitectos; PLA Edmundo R. Colón-Izquierdo, ASLA, AIA, de ECo, Inc. y José Juan Terrasa-Soler, ASLA, de Marvel Designs.



### Información de calidad

Preparado por	Revisado por	Verificado por	Aprobado por
AECOM	AECOM The Nature Conservancy Protectores de Cuencas	AECOM The Nature Conservancy Protectores de Cuencas	Oficina de Recuperación Conjunta de FEMA

### Historial de revisiones

Revisión	Fecha de revisión	Detalles	Autorizado	Nombre	Cargo

### Lista de distribución

N.º de copias impresas	PDF requerido	Nombre de la empresa o asociación

## Índice

<b>1. Introducción y antecedentes</b> .....	<b>1</b>
1.1. Objetivos de esta guía .....	1
1.2. Antecedentes sobre el manejo de aguas pluviales en Puerto Rico .....	1
1.3. La función de las soluciones naturales y basadas en la naturaleza en el manejo de aguas pluviales .....	3
<b>2. Metodologías conceptuales de las soluciones naturales y basadas en la naturaleza</b> ....	<b>4</b>
2.1. Sistemas de biorretención .....	7
2.1.1. Descripción de soluciones y objetivos .....	7
2.1.2. Entornos adecuados para una implementación exitosa .....	8
2.1.3. Materiales y equipos de construcción .....	11
2.1.4. Consideraciones de construcción .....	15
2.1.5. Secciones típicas .....	16
2.1.6. Monitoreo y manejo adaptativo .....	16
2.1.7. Estimado de costos .....	17
2.2. Pavimento permeable .....	17
2.2.1. Descripción de soluciones y objetivos .....	17
2.2.2. Entornos adecuados para una implementación exitosa .....	18
2.2.3. Materiales y equipo de construcción .....	19
2.2.4. Consideraciones de construcción .....	21
2.2.5. Secciones típicas .....	22
2.2.6. Monitoreo y manejo adaptativo .....	23
2.2.7. Estimado de costos .....	23
2.3. Recolección de aguas de lluvia .....	23
2.3.1. Descripción de soluciones y objetivos .....	23
2.3.2. Entornos adecuados para una implementación exitosa .....	24
2.3.3. Materiales y equipo de construcción .....	25
2.3.4. Consideraciones de construcción .....	28
2.3.5. Secciones típicas .....	29
2.3.6. Monitoreo y manejo adaptativo .....	29

2.3.7. Estimado de costos .....	30
<b>3. Consideraciones de manejo reglamentario.....</b>	<b>31</b>
<b>4. Casos de estudio .....</b>	<b>32</b>
4.1. Centro de la Administración de Servicios Federales de Estados Unidos en Guaynabo.....	32
4.2. Diseño conceptual de una plaza comunitaria .....	34
<b>5. Referencias.....</b>	<b>36</b>
<b>6. Recursos.....</b>	<b>39</b>

## Ilustraciones

Ilustración 2-1. Ejemplo de cómo las funciones SNBN para aguas pluviales pueden ser incorporadas en una comunidad en diferentes tipos de infraestructura.....	5
Ilustración 2-2. Cajas jardineras de biorretención en la instalación federal de la Administración de Servicios Generales (GSA, por siglas en inglés) en el municipio de Guaynabo durante una tarde lluviosa. ....	7
Ilustración 2-3. Jardín de lluvia en Loíza, Puerto Rico (fotografía izquierda: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico, fotografía derecha: Protectores de Cuencas, 2023).....	9
Ilustración 2-4. Ejemplo de una sección típica de biorretención. ....	16
Ilustración 2-5. Estacionamiento permeable en el Centro Guaynabo de la GSA luego de una lluvia por la tarde, que muestra el agua infiltrándose lentamente en el pavimento, recargando el agua subterránea y reduciendo las escorrentías en la ubicación. La zona mojada corresponde a pavimento estándar colocado para sostener un tráfico más intenso, mientras el resto del estacionamiento cubierto con pavimento permeable. ....	17
Ilustración 2-6. Estacionamiento permeable en Rincón, Puerto Rico .....	19
Ilustración 2-7. Ejemplo de una sección típica de pavimento permeable.....	22
Ilustración 2-8. Ejemplo de un sistema residencial típico de recolección de aguas de lluvia. ....	29
Ilustración 4-1. Vista aérea de las SNBN de la instalación de la GSA.....	33
Ilustración 4-2. Una mejora futura recomendada para la ubicación de la GSA es la incorporación de rótulos educativos, como los visibles en el este jardín de lluvias en la Ciudad de Omaha, NE. (EPA, 2023).....	34
Ilustración 4-3. Diseño Conceptual de una plaza comunitaria. ....	35

## Tablas

Tabla 2-1: Técnicas y aplicaciones verdes para aguas pluviales incluidas en esta guía.....	6
--	---

Tabla 2-2: Ejemplos de especies recomendadas para la biorretención ..... 10

Tabla 2-3: Elementos de diseño para biorretención ..... 12

Tabla 2-4: Elementos de diseño del pavimento permeable..... 20

Tabla 2-5: Seis componentes básicos de un sistema de recolección de aguas de lluvia ..... 25

# 1. Introducción y antecedentes

Esta guía está diseñada para facilitarle al personal de FEMA y a las partes interesadas el conocimiento necesario y consejos prácticos con el fin de que puedan llevar a cabo efectivamente las labores de manejo de aguas pluviales en Puerto Rico mediante el uso de Soluciones Naturales y Basadas en la Naturaleza (SNBN). Esto involucra la captación y el almacenamiento de aguas de lluvia y fomentar la infiltración de escorrentías para reducir los niveles de inundación y para apoyar los flujo base del caudal y niveles de aguas subterráneas de forma consistente con los objetivos estratégicos de FEMA para mejorar la resiliencia climática.

Considerando los efectos agravantes que el desarrollo de superficies impermeables ha provocado sobre los niveles del agua de inundación y recursos de agua potable en Puerto Rico, es evidente que existe una necesidad urgente de identificar prácticas sostenibles y resilientes para el manejo de escorrentías. El cambio climático ha aumentado los retos de manejo de los recursos de agua y hace que el enfoque de soluciones naturales sea más necesario que nunca.

## 1.1. Objetivos de esta guía

- Aumentar la comprensión y el conocimiento de las SNBN y su función en el manejo de aguas pluviales.
- Proveer una guía técnica para la implementación de biorretención, pavimento permeable y sistemas de recolección de aguas de lluvia.
- Ilustrar los beneficios y la efectividad de las SNBN en entornos urbanos para diferentes tipos de infraestructura.
- Facilitar la toma de decisiones informadas para seleccionar y aplicar SNBN en diferentes contextos urbanos, con la meta principal de abarcar la reducción de inundaciones y beneficios accesorios para apoyar el mantenimiento del flujo base del caudal y mejorar la recarga de aguas subterráneas.

## 1.2. Antecedentes sobre el manejo de aguas pluviales en Puerto Rico

El clima, la topografía y la cobertura terrestre de la isla condicionan las escorrentías de las aguas pluviales de Puerto Rico. Las precipitaciones anuales varían de menos de 1,000 milímetros (mm) hasta más de 4,000 mm (40 a 157 pulgadas).<sup>1</sup> Las grandes cuencas montañosas en Puerto Rico se caracterizan por sus laderas relativamente abruptas. Los valles aluviales suelen ser muy cincelados y angostos, las tormentas grandes suelen ser intensas, pero de corta duración. Las inundaciones, por lo tanto, son rápidas con picos de descarga muy por encima de la descarga base.

Todas las cuencas de Puerto Rico han sufrido cambios significativos debido a cambios históricos en el uso de tierras y la deforestación, los cuales inicialmente fueron impulsados por la extracción de madera, agricultura y ganadería. Cuando las prácticas agrícolas industriales intensivas disminuyeron

---

<sup>1</sup> Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), Departamento de Comercio de Estados Unidos (2024). "Parámetros de Puerto Rico e Islas Vírgenes de Estados Unidos". Servicio Meteorológico Nacional. Servicio Meteorológico Nacional del NOAA. [https://www.weather.gov/sju/climo\\_pr\\_usvi\\_normals](https://www.weather.gov/sju/climo_pr_usvi_normals).



luego de la década del 50, principalmente asociadas a las plantaciones de cañas de azúcar, muchas zonas regresaron a la cobertura forestal, pero otras fueron modificadas para el desarrollo urbano. Muchas colinas han sido aplanadas, las llanuras aluviales rellenadas y luego pavimentadas para posibilitar la construcción de calles, carreteras, estacionamientos y otros desarrollos residenciales, comerciales e industriales. Más del 11% de la isla está compuesta por superficies desarrolladas, mientras que en regiones metropolitanas como San Juan alcanzan el 40%.<sup>2</sup> Estos cambios han modificado significativamente los patrones de drenaje de aguas pluviales y niveles de las aguas por debajo de las zonas de inundación.

Las superficies impermeables limitan severamente la infiltración de aguas de lluvia. Esto no solo incrementa el volumen de escorrentías que se mueven inicialmente como flujo laminar sobre la tierra, sino que también su velocidad. Los desagües pluviales pueden verse fácilmente sobrecargados por el incremento resultante de los caudales. Además, las aguas pluviales que fluyen sobre superficies impermeables alcanzan quebradas y ríos mucho más rápido, lo que sobrecarga la capacidad de estos cuerpos de agua para recibir y manejar un mayor volumen de agua dentro de sus configuraciones establecidas como canales, lo que puede provocar niveles de inundación más altos y frecuentes a lo largo de las tierras adyacentes. Asimismo, es más probable que la contaminación de superficies de contacto y no contacto con contaminantes alcance cuerpos de aguas superficiales al ser transportada por las escorrentías sobre superficies impermeables en lugar de ser parcial o totalmente degradada por suelos con vegetación.

Los caudales más altos también tienen una mayor capacidad para quitar y transportar suelo al igual que otro material suelto con poca resistencia de las riberas y el lecho del río, lo que facilita la erosión y que se afecte la integridad estructural de puentes, paredes, etc. Paradójicamente, los caudales de los ríos disminuyen entre episodios de lluvia luego de la urbanización. Las superficies impermeables actúan como una barrera que aísla el suelo, lo que impide la infiltración de aguas de lluvia que de otra forma serían gradualmente descargadas del suelo hacia las quebradas en los días posteriores, un proceso crítico para mantener los flujos base del caudal para especies ribereñas de peces y vida silvestre, como también para sostener el suministro de agua pública.

Como respuesta, se han adoptado varias medidas de infraestructura material (estaciones de bombeo para control de inundaciones, alcantarillas con lados curvos, canales trapezoidales de concreto, etc.) en toda la isla para abordar las escorrentías de aguas pluviales en caso de inundaciones sin considerar los efectos ecológicos, sociales, culturales o estéticos. Estas prácticas suelen involucrar importantes costos operativos y de mantenimiento. Además, en muchos casos, pueden fomentar la erosión, el lavado y el deterioro en la calidad del agua río abajo y en otros cuerpos de agua que reciben el caudal.

Aprovechar los servicios ecológicos que las zonas verdes y otras prácticas sostenibles ofrecen para manejar los caudales de escorrentías y mejorar la calidad del agua es más fundamental que nunca

---

<sup>2</sup> Martinuzzi, Sebastián, William A. Gould, y Olga M. Ramos González. (2007). "Desarrollo de tierra, uso de tierra y expansión urbana en Puerto Rico integrando detección remota y datos del censo poblacional". <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.02.014>.

para salvaguardar el bienestar de las comunidades, especialmente contra el incremento de los efectos por inundaciones relacionados al cambio climático en Puerto Rico. Estos efectos que produce el cambio climático incluyen eventos de precipitaciones muy intensas o extremas con importantes periodos de escasez de lluvias o sequías entre ellos, compuestos por una reducción del promedio anual de precipitaciones de entre el 13% y el 22% para toda la isla para el año 2050, en comparación con el periodo registrado entre 1986 y 2005.<sup>3</sup>

### **1.3. La función de las soluciones naturales y basadas en la naturaleza en el manejo de aguas pluviales**

Las SNBN ofrecen una infinidad de beneficios para el manejo de aguas pluviales, dirigidos a ralentizar y disminuir las escorrentías antes de que alcancen los sistemas sobrecargados de aguas pluviales, quebradas, caudales, ríos y aguas costeras. Esto se puede lograr al mejorar la evapotranspiración e infiltración mediante cobertura vegetal y un mejor rendimiento del suelo; reducir las superficies impermeables; capturar y almacenar aguas de lluvia en zonas localizadas para mejorar el drenaje en el lugar; e incrementar las rutas de caudales y capacidad de almacenamiento de sistemas de aguas pluviales. Estas prácticas, similares al manejo tradicional de aguas pluviales, reducen los caudales pico y los niveles de agua río abajo durante eventos de lluvias fuertes, así como los efectos resultantes de erosión y lavado de cuencas, para fomentar comunidades más seguras y resilientes.

En Puerto Rico, el entorno natural amplio y diverso es fundamental para su estructura social y cultural. La infraestructura verde de aguas pluviales y las SNBN proporcionan varios beneficios ambientales para salvaguardar estos recursos. Los humedales urbanos, por ejemplo, pueden actuar como barreras naturales que absorben el exceso de nutrientes y contaminantes, lo que mejora en consecuencia la claridad y calidad del agua. Los sistemas de recolección de aguas de lluvia pueden reducir la contaminación de aguas superficiales con fertilizantes, pesticidas, metales y otros sedimentos. Los elementos de infraestructura verde como pavimentos permeables y drenajes vegetados ayudan a ralentizar e infiltrar las aguas pluviales, lo que evita el desbordamiento hacia los sistemas de aguas pluviales y alivia la carga sobre la infraestructura urbana. Esta restauración de los procesos hidrológicos naturales no solo promueve la creación de hábitats y la biodiversidad, sino que también contribuye al bienestar general de los ecosistemas, apoya las poblaciones de flora y fauna nativas, reduce el “efecto de isla de calor urbano” y mejora la resiliencia de los ecosistemas a los efectos del cambio climático, incluso el incremento esperado en la severidad de tormentas tropicales y sequías.<sup>4</sup> Estas estrategias no solo incrementan la resiliencia a eventos frecuentes de lluvias, sino que también fomentan la recarga de aguas subterráneas, promoviendo las prácticas sostenibles para aguas pluviales dentro de entornos urbanos.

---

<sup>3</sup> Consejo para el Cambio Climático de Puerto Rico. (2022). “Estado del Clima de Puerto Rico 2014-2021”. [https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2022/10/PR\\_StateOfTheClimate\\_2014-2021\\_PRCCC-09-2022.pdf](https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2022/10/PR_StateOfTheClimate_2014-2021_PRCCC-09-2022.pdf).

<sup>4</sup> Programa de Investigación del Cambio Climático de Estados Unidos. (2023). “Quinta Evaluación Nacional del Clima del Caribe Estadounidense”. <https://nca2023.globalchange.gov/chapter/23/>.

Las SNBN para aguas pluviales también pueden reducir sus costos administrativos en comparación con los enfoques de infraestructura gris. Al fomentar la infiltración en el sitio en pequeñas parcelas o superficies de tierra, se manejan más escorrentías de forma local, lo que reduce la carga en los sistemas sobrecargados de aducción de aguas pluviales. En Puerto Rico, donde la degradación de la infraestructura de aguas pluviales es común, la adopción de soluciones más localizadas sería particularmente valiosa para muchos municipios. Además, la incorporación de espacios verdes y vegetación en panoramas urbanos ofrece beneficios recreativos y estéticos para las comunidades, que también puede provocar un incremento en los valores de propiedades.<sup>5</sup>

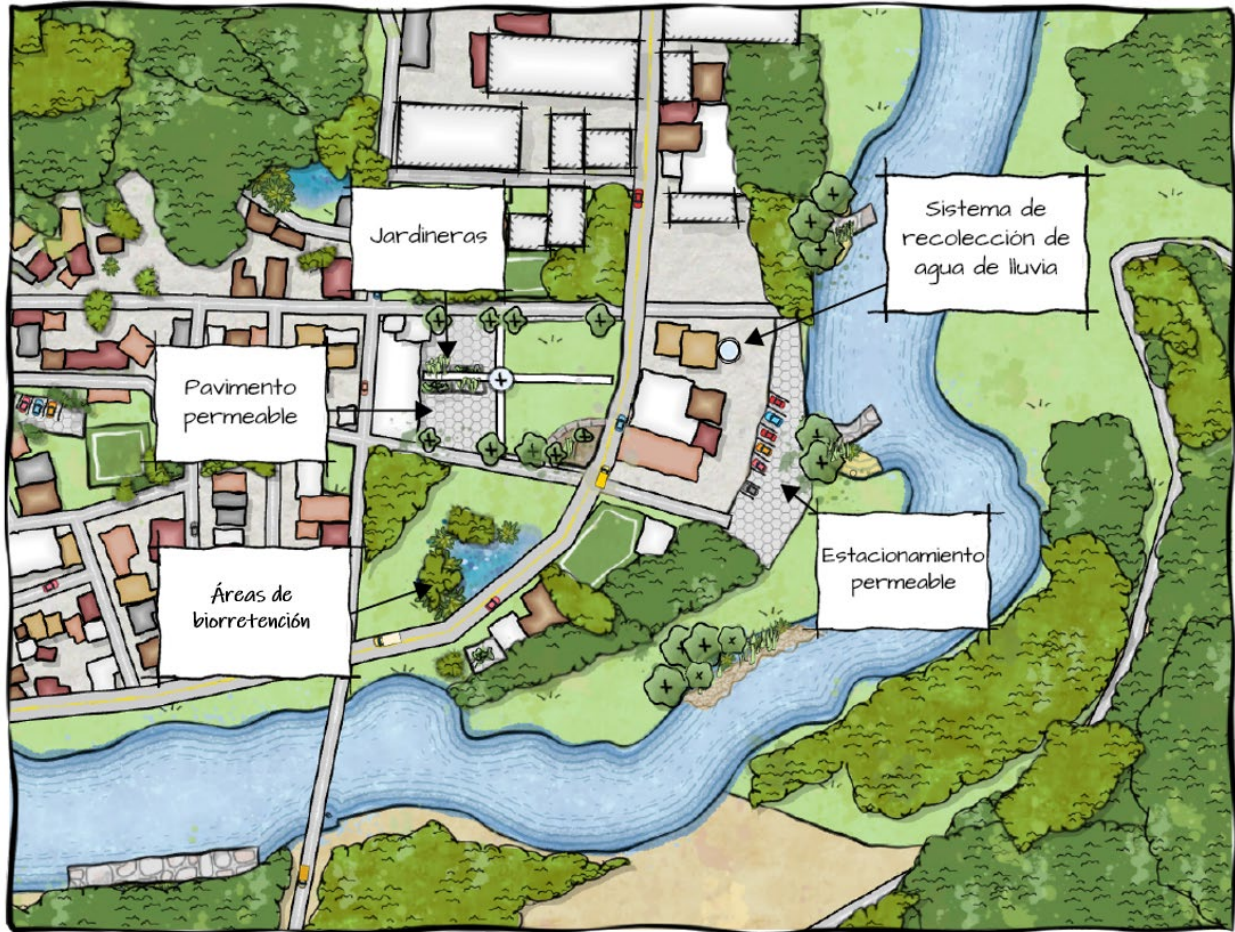
## 2. Metodologías conceptuales de las soluciones naturales y basadas en la naturaleza

Esta sección trata sobre las metodologías para tres tipos de infraestructura verde de aguas pluviales: (1) biorretención, (2) pavimentos permeables y (3) sistemas de recolección de aguas de lluvia. Aunque la incorporación por parte de un único proyecto de uno de estos tres sistemas no erradicará por completo las inundaciones de toda una comunidad, especialmente para estructuras ubicadas dentro de valles de inundación, los municipios y desarrolladores deben intentar integrar estos sistemas a escala del lugar, priorizando mejoras a la infraestructura pública (por ejemplo, plazas, zonas recreativas, estacionamientos, carreteras), desarrollos desde cero y nuevos desarrollos (por ejemplo, comunidades residenciales, edificios comerciales, estacionamientos del centro comercial). Al incrementar la infiltración en el lugar y reducir las escorrentías, las comunidades pueden reducir el estrés sobre los sistemas sobrecargados de aducción de aguas pluviales y quebradas. Estos pequeños cambios, si se combinan, pueden marcar una importante diferencia en la reducción del riesgo de inundación para una comunidad y la mejora de la calidad del agua, esto último mediante el uso de procesos naturales que provocan la descomposición de cargas de nutrientes y otros contaminantes. La **Ilustración 2-1** proporciona un ejemplo ilustrativo sobre cómo estas funciones pueden ser integradas sin problemas en la infraestructura establecida para aguas pluviales de una comunidad, sin perder la función de estos espacios.

En algunas zonas de Puerto Rico, los sistemas de ríos o canales más pequeños pueden llenarse rápidamente, incluso durante eventos de lluvias normales. Fomentar la infiltración a nivel del lugar y minimizar el efecto de las escorrentías rápidas en canales aguas abajo puede reducir el riesgo de inundación. Además, combinar estas técnicas a escala del lugar con metodologías más regionales — mencionadas en los informes de las herramientas de trabajo de cuencas y/o costas de la Oficina de Recuperación Conjunta de FEMA en Puerto Rico— puede establecer un sistema más fuerte y resiliente.

---

<sup>5</sup> FEMA. (2021). "Desarrollo de Resiliencia Comunitaria con Soluciones Basadas en la Naturaleza". [https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema\\_riskmap-nature-based-solutions-guide\\_2021.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_riskmap-nature-based-solutions-guide_2021.pdf).



**Ilustración 2-1. Ejemplo de cómo las funciones SNBN para aguas pluviales pueden ser incorporadas en una comunidad en diferentes tipos de infraestructura.**

Esta guía contiene información para el desarrollo de sistemas de biorretención, pavimentos permeables y sistemas de recolección de aguas de lluvia, resumidos en la **Tabla 2-1**. Existen muchos tipos de técnicas o aplicaciones verdes para aguas pluviales que han sido implementadas con éxito bajo diferentes condiciones específicas del sitio no mencionadas en este documento. Las publicaciones y/o directrices adicionales sobre otros tipos comunes de técnicas verdes para infraestructura de aguas pluviales han sido incluidas como recursos en la sección final de este documento.

**Tabla 2-1: Técnicas y aplicaciones verdes para aguas pluviales incluidas en esta guía**

Tipo	Definición	Ejemplos de aplicación
<b>Sistemas de biorretención</b>	El término “sistemas de biorretención” se utiliza para varias instalaciones que manejan aguas pluviales. En orden de la escala y cantidad de almacenamiento proporcionado, estos incluyen cajas jardineras, jardines de lluvia, drenajes vegetados y celdas de biorretención. Se incluye la información completa sobre esta metodología en la Sección 2.1.	Ubicaciones residenciales Ubicaciones comerciales Estacionamientos Plazas Carreteras Parques
<b>Pavimentos permeables</b>	Los pavimentos permeables permiten que el suelo absorba más precipitación. Los tipos comunes incluyen concreto permeable, asfalto poroso y adoquines entrelazados. Se incluye la información completa sobre esta metodología en la Sección 2.2.	Estacionamientos Plazas
<b>Recolección de aguas de lluvia</b>	La recolección de aguas de lluvia capta y almacena el agua de lluvia para usos futuros. Puede variar en escala, desde un barril de lluvia para patios traseros hasta una gran cisterna. Se incluye la información completa sobre esta metodología en la Sección 2.3.	Ubicaciones residenciales Ubicaciones comerciales

## 2.1. Sistemas de biorretención

### 2.1.1. DESCRIPCIÓN DE SOLUCIONES Y OBJETIVOS

El término "sistemas de biorretención" abarca una gran variedad de sistemas de drenaje diseñados para manejar las escorrentías de aguas pluviales. Estas soluciones pueden variar en escala y capacidad de almacenamiento de escorrentías, incluso cajas jardineras, jardines de lluvia, drenajes vegetados, celdas de biorretención y humedales artificiales. Las **cajas jardineras** suelen ser estructuras de concreto rellenas con medios vegetales, arena y capas de gravilla para facilitar la infiltración (**Ilustración 2-2**). Los **jardines de lluvia** son cuencas poco profundas con vegetación que recolectan y absorben las escorrentías de superficies impermeables como techos y aceras (**Ilustración 2-3**). Los **drenajes vegetados** o cunetones con vegetación son canales cubiertos con plantas o mantillos que tratan y absorben las aguas pluviales a medida que viajan aguas abajo. A diferencia de los jardines de lluvia, los drenajes vegetados incorporan un sistema subterráneo y suelen ser utilizados en zonas donde no hay mucho espacio disponible, dirigiendo el exceso de agua hacia los sistemas de drenaje ya establecidos. Las **celdas de biorretención** o "bioceldas" funcionan de forma similar a los drenajes vegetados, pero no son lineales y ocupan zonas específicas, como zonas barrera entre estacionamientos y cuerpos de agua; además, suelen tener suelos y árboles con un proceso de ingeniería más complejo. Los **humedales artificiales** suelen ser sistemas más grandes diseñados para retener/almacenar agua, mientras que los otros tipos son sistemas secos. Sin embargo, los humedales artificiales no son adecuados para entornos urbanos ya que proporcionan un hábitat para especies no deseadas en dichos entornos (mosquitos, ranas, etc.).



**Ilustración 2-2. Cajas jardineras de biorretención en la instalación federal de la Administración de Servicios Generales (GSA, por siglas en inglés) en el municipio de Guaynabo durante una tarde lluviosa.**

Cada tipo de sistema de biorretención ofrece varios beneficios, entre ellos: mayor infiltración, reducción de escorrentías, mejora de la calidad del agua, creación de hábitats para especies salvajes nativas y mejoras estéticas. Según el diseño del sistema, se pueden reducir los volúmenes

de escorrentías de aguas pluviales en el lugar de 56 hasta 89% durante un evento de tormenta.<sup>6</sup> El rendimiento de eliminación de contaminantes varía más, pero las investigaciones han indicado que la biorretención puede ayudar a reducir la cantidad total de metales, bacterias, total de sólidos en suspensión y total de nitrógeno en las escorrentías de aguas pluviales.<sup>6</sup> Aunque existen diferencias en el diseño y las consideraciones de los diferentes tipos de sistemas de biorretención, los componentes fundamentales son muy similares para cada tipo.

### **2.1.2. ENTORNOS ADECUADOS PARA UNA IMPLEMENTACIÓN EXITOSA**

Los sistemas de biorretención son muy adecuados para ubicaciones de diferentes tamaños gracias a la flexibilidad de la escala del sistema. Las consideraciones clave de diseño incluyen zonas de drenaje, pendientes, condiciones del suelo, profundidad del nivel freático y la incorporación de funciones para optimizar el rendimiento y minimizar el mantenimiento. Las ubicaciones ideales incluyen estacionamientos y panoramas residenciales con pendientes leves de alrededor del 5% para asegurar una diferencia suficiente de elevación y tener un flujo de agua adecuado para el medio de filtración dentro de un límite de tiempo especificado.<sup>6</sup> La biorretención dentro del derecho público de paso debe adecuarse al uso de vehículos y demanda de estacionamiento.

Se debe realizar una prueba de infiltración en el lugar para verificar la idoneidad del suelo en la práctica SNBN propuesta para aguas pluviales, ya que las consideraciones sobre el tipo de suelo son críticas. La mayoría de los suelos de Puerto Rico tienen una tasa de infiltración suficiente para apoyar estos sistemas, pero en zonas con mala infiltración, se pueden añadir drenajes subterráneos en caso de ser necesarios, para asegurar un tiempo de desembolso suficiente para la capacidad de supervivencia de las plantas. La capa inferior del sistema debe encontrarse como mínimo a 2 pies por encima del nivel freático.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Agencia de Protección Ambiental. (2021). "La mejor práctica de manejo de aguas pluviales, la biorretención (jardines de lluvia)". <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/bmp-bioretenion-rain-gardens.pdf>.



**Ilustración 2-3. Jardín de lluvia en Loíza, Puerto Rico (fotografía izquierda: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico, fotografía derecha: Protectores de Cuencas, 2023).**

Al seleccionar la vegetación, es importante considerar el microclima de la zona (sombra, exposición al viento, proximidad a edificios) junto al macroclima de Puerto Rico (región cársica con mucho drenaje, norte húmedo, regiones más secas al sur, etc.). Se pueden sembrar plantas en tiestos seleccionadas en viveros según el espacio o la zona disponible. La disponibilidad de especies vegetales seleccionadas puede ser un factor limitante provisional para el desarrollo del proyecto, ya que grandes cantidades o ciertas especies pueden no estar disponibles para su venta en viveros locales. Por lo tanto, es importante tener un plan para separar el inventario establecido o cosechar y desarrollar semillas y/o pimpollos para que la vegetación esté disponible cuando sea necesaria para la etapa de siembra del proyecto. Por lo tanto, la coordinación con proveedores locales es esencial para comprender qué vegetación puede ser provista, su disponibilidad anual o si existe un tiempo de anticipo necesario para su adquisición. Garantizar que el material vegetal esté disponible cuando el proyecto se encuentre en construcción es fundamental para cumplir con el cronograma y reducir los costos.

Se recomienda la irrigación de praderas recientemente creadas, arbustos y árboles para incrementar la posibilidad de supervivencia del trasplante durante las primeras semanas. Realizar la siembra durante la temporada de lluvias (de abril a noviembre) también puede apoyar este esfuerzo y resultar en menores costos de irrigación. Además, colocar viruta alrededor de las plantas puede ayudar a que el suelo retenga más humedad y aumenta la supervivencia inicial de las plantas. Es normal experimentar algo de mortalidad entre las plantas individuales, debido a la deshidratación, choque térmico, desecación por viento o daños por insectos. Sin embargo, es importante calcular estas pérdidas e incluir el remplazo de las plantas muertas en el plan, tanto en términos de logística como de costo total del proyecto.

La investigación científica *Especies recomendadas para jardines de lluvia, drenajes vegetados y celdas de biorretención en Puerto Rico y las Islas del Caribe* proporciona una lista integral de la



vegetación para biorretención recomendada específicamente para Puerto Rico.<sup>7</sup> Los hábitats vegetales más recomendados incluyen especies herbáceas como forbias y poáceas, como también arbustos y árboles. Se incluyen ejemplos de especies nativas recomendadas para biorretención en estos hábitats en la **Tabla 2-2** a continuación.

**Tabla 2-2: Ejemplos de especies recomendadas para la biorretención**

Hábitat vegetal	Ejemplo de especies nativas ( <i>Nombre científico</i> / <i>Nombre común</i> )	Notas
Forbia	<i>Commelina diffusa</i> / Cohitre	Flor azul. Tiesto recomendado de 4" totalmente arraigado con 12" de espacio. Se siembra mejor con sol total o parcial.
	<i>Buchnera americana</i>	Flor silvestre permanente de color púrpura o azul. Tiesto recomendado de 4" totalmente arraigado con 12" de espacio. Se siembra mejor con sol total, alta resistencia a sequías.
	<i>Sphagneticola trilobata</i> ( <i>Wedelia trilobata</i> ) / Wedelia, Manzanilla	Planta nativa del Caribe. Flores amarillas atractivas y desbordantes con una cobertura densa del suelo, adaptada a muchos espacios. Tiesto desbordado recomendado de 4" totalmente arraigado con 12" de espacio. Se siembra mejor con sombra parcial y puede sobrevivir sequías moderadas.
Graminoide	<i>Cladium mariscus</i> ssp. Jamaicense / Cortadera de ciénaga	Se recomienda sembrar en 3 galones con 24" de altura y un mínimo de 5 tallos con 36" de separación. Se siembra mejor con sol total o parcial en una zona que regularmente no sufre inundaciones.
	<i>Cyperus polystachyos</i> / Manyspike de juncia plana	Se recomienda sembrar en 3 galones con 24" de altura y un mínimo de 5 tallos con 36" de separación. Se siembra mejor con sol total o parcial. Se encuentra normalmente en zonas húmedas y pastosas en elevaciones menores.
	<i>Fimbristylis</i> spp. / Junquito	Se recomienda sembrar en 3 galones con 24" de altura y un mínimo de 5 tallos con 36" de separación. Se siembra mejor con sol total o parcial. Tolera muy bien inundaciones regulares.
Arbusto	<i>Lantana camara</i> / Cariaquillo	Se recomienda un tiesto desbordado de 4" totalmente arraigado con 18" de espacio. Se siembra mejor con sol total. Tolera sequías.

<sup>7</sup> Terrasa-Soler, J.J. (2016). "Especies recomendadas para jardines de lluvia, drenajes vegetados y celdas de biorretención en Puerto Rico y las Islas del Caribe". [https://iterrasa.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/02/recommended-species-for-rain-gardens-bioswales-bioretenion-cells-in-puerto-rico-and-caribbean-islands\\_jose-i-terrassa-soler\\_2016.pdf](https://iterrasa.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/02/recommended-species-for-rain-gardens-bioswales-bioretenion-cells-in-puerto-rico-and-caribbean-islands_jose-i-terrassa-soler_2016.pdf).

Hábitat vegetal	Ejemplo de especies nativas ( <i>Nombre científico</i> / <i>Nombre común</i> )	Notas
	<i>Chrysobalanus icaco</i> / Icaco	Se recomienda sembrar en 3 galones con 24" de altura y un mínimo de 5 tallos con 36" de separación. Se siembra mejor con sombra total o parcial. Tolera muy bien condiciones secas y húmedas.
Árbol	<i>Bucida buceras</i> / Úcar	Se recomienda sembrar en 15 galones con 8' de altura. Se siembra mejor con sol directo. Requiere riego regular y es adecuado para zonas normalmente inundadas.
	<i>Ficus citrifolia</i> / Jagüefllo	Se recomienda sembraren 7 galones con 6' de altura. Se siembra mejor con sol indirecto. Requiere un suelo con buen drenaje.

### 2.1.3. MATERIALES Y EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN

El diseño de la biorretención debe ser específico para la ubicación y depender del tipo de instalación de biorretención seleccionada. Los elementos clave, sus consideraciones y aplicabilidad se incluyen en la **Tabla 2-3** a continuación, resumidos del Manual de Diseño de Biorretención de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés),<sup>8</sup> con consideraciones adicionales para las condiciones locales de Puerto Rico. Durante su construcción, se pueden utilizar medidas provisionales para control de sedimentos como troncos de abono, “check dams” y charcas de sedimentos para evitar la obstrucción del sistema. Se debe utilizar equipo para remoción de tierra de bajo impacto, como equipo de pista ancha, para humedales o equipo ligero con neumáticos para césped para reducir la presión y compresión del suelo. Se pueden emplear alfombrillas para rellenar y nivelar. Se recomienda excavar en estado seco para evitar que se corra el suelo y rastrillar el suelo con los dientes de la pala para aflojar la compresión.

<sup>8</sup> Agencia de Protección Ambiental. (2021). “Manual de diseño de biorretención: diseño de biorretención holística para rendimiento y longevidad”. [https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-11/bioretentiondesignhandbook\\_plainnov2023.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-11/bioretentiondesignhandbook_plainnov2023.pdf).

**Tabla 2-3: Elementos de diseño para biorretención**

Elemento de diseño	Descripción	Materiales	Aplicabilidad
<b>Entrada / Captura de escorrentías</b>	El flujo de entrada puede penetrar a una instalación de biorretención como flujo laminar o concentrado; para sistemas más grandes, tomas diseñadas pueden ser utilizadas para dirigir el agua hacia el sistema.	Los materiales dependen del tipo seleccionado de toma. Los tipos comunes incluyen entradas cubiertas, zanjas de drenaje, tuberías, entradas con extensión del borde, drenajes en caída y tomas descendientes.	Se recomiendan las tomas diseñadas para drenajes vegetados y celdas de biorretención, óptimas para jardines de lluvia más pequeños y cajas jardineras.
<b>Tratamiento previo</b>	Se deben utilizar medidas previas al tratamiento, como filtros con vegetación, para disipar energía y minimizar la erosión. Esto filtra el material grueso que puede obstruir el suelo y reducir la eficiencia de la infiltración.	Los materiales dependen del tipo de tratamiento previo seleccionado. Los tratamientos comunes de flujo laminar incluyen franjas de filtros con vegetación y membranas de gravilla. Los tratamientos comunes para tomas incluyen depósitos de carga, bloques de salpicaduras, cuencas de capturas, protecciones de filtros o mallas.	Aplicable para cada tipo de biorretención con un área de contribución de drenaje de 1/2 acre. Comúnmente utilizado cuando el flujo de entrada es flujo concentrado (bordes, tuberías), pero también puede ser utilizado para el flujo laminar.
<b>Vegetación</b>	La vegetación nativa, no invasiva y de bajo mantenimiento es la selección ideal para los sistemas de biorretención. Los sistemas están diseñados para drenarse por completo en 24-36 horas (p. ej., no volverse un humedal); por lo tanto, las especies de plantas seleccionadas deben tolerar periodos cortos de inundación y periodos más largos de sequías.	La investigación científica <i>Especies recomendadas para jardines de lluvia, drenajes vegetados y celdas de biorretención en Puerto Rico y las Islas del Caribe</i> proporciona un listado integral de la vegetación para biorretención recomendada de forma específica para Puerto Rico. <sup>8</sup>	Aplicable para cada tipo de sistema de biorretención. La escala de la vegetación y cantidad de plantas seleccionadas varía según el tamaño del sistema. Por ejemplo, las celdas de biorretención son lo suficientemente grandes para acomodar árboles, mientras que las cajas jardineras no suelen hacerlo.

Elemento de diseño	Descripción	Materiales	Aplicabilidad
<b>Mantillo</b>	El mantillo se suele utilizar sobre la capa de Suelo de Medio para Biorretención (BSM, por sus siglas en inglés) (1-2 pulgadas) como cobertura del lecho del filtro para retener y filtrar el agua, además de proporcionar un ambiente adecuado para la vegetación en la superficie.	Viruta de madera	Aplicable para cada tipo de sistema de biorretención. Se puede utilizar gravilla/esquisto/roca como una alternativa más resistente si el sistema será expuesto a tormentas y vientos intensos.
<b>Suelo de Medio para Biorretención (BSM, por sus siglas en inglés)</b>	El medio de filtro o suelo de medio para biorretención puede ser el suelo existente si las condiciones son apropiadas o puede incluir suelo diseñado para mejorar las tasas de infiltración. Se pueden encontrar descripciones de cómo realizar las pruebas de infiltración para decidir la idoneidad del suelo en la Orientación para Diseño de Celdas de Biorretención para Oklahoma. <sup>9</sup> Esta capa se suele encontrar entre 2 y 4 pies.	El suelo existente puede ser utilizado si las tasas de infiltración son idóneas.  El BSM diseñado suele estar compuesto de 4 partes de arena, 2 partes de abono y 1 parte de suelo superior o una mezcla regionalmente adecuada, con 80% de compresión relativa. <sup>6</sup>  Las modificaciones al BSM para incrementar la infiltración incluyen carbón vegetal y fibra de coco.	Aplicable para cada tipo de sistema de biorretención. Se recomienda el suelo diseñado si los estudios de suelo demuestran malas tasas de infiltración. Si la calidad del agua es un resultado clave, se pueden añadir mejoras del medio (carbón vegetal, residuos del tratamiento de aguas residuales) para este propósito. La profundidad de esta capa varía según la capacidad de almacenamiento deseada del sistema.

<sup>9</sup> Universidad Estatal de Oklahoma. (2017). "Orientación para diseño de celdas de biorretención para Oklahoma". <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/print-publications/bae/bioretenion-cell-design-guidance-for-oklahoma-bae-1536.pdf>.

Elemento de diseño	Descripción	Materiales	Aplicabilidad
<b>Capa de bloqueo o revestimiento</b>	Las capas de bloqueo o revestimientos se pueden utilizar para separar el lecho del filtro de la capa de drenaje y limitar la dispersión de materiales.	Las capas de bloqueo suelen ser de 2 a 4 pulgadas de arena o gravilla (1/4 de pulgada hasta 1 pulgada de diámetro).  Se pueden utilizar tela de saco de café como un revestimiento permeable. Los revestimientos impermeables incluyen revestimientos arados, capas de arcilla, revestimientos de geomembrana y revestimientos de concreto.	El uso de bloqueos y revestimientos suele limitarse a celdas de biorretención. Los revestimientos pueden ser adecuados cuando hay zonas contaminadas en el suelo subterráneo. No deben ser utilizados en zonas con suelos de arcilla, ya que pueden obstruir los sistemas.
<b>Capa de drenaje</b>	Una capa de piedra más áspera debajo del BSM para fomentar el drenaje. Esta capa se suele encontrar entre 1 y 2 pies.	La combinación recomendada de materiales de piedra para esta capa es de aproximadamente 3/4 de pulgada a 2.5 pulgadas en diámetro (piedras AASHTO número 2, 3, 56, 57 y 67).	Adecuada para cajas jardineras o sistemas limitados donde no es posible almacenar el volumen total de agua en la superficie o para sistemas de biorretención donde se desea minimizar el almacenamiento en superficie.
<b>Drenajes subterráneos y descargas</b>	El agua puede dejar el sistema de biorretención mediante filtración, evapotranspiración y flujo de salida. Los drenajes subterráneos se utilizan para controlar el flujo de salida debajo de la superficie. Las descargas se utilizan para controlar el flujo de salida en la superficie.	Los drenajes subterráneos suelen ser una tubería de PVC o PEAD de 4 a 6 pulgadas de diámetro con agujeros espaciados. Se recomienda de 6 pulgadas para minimizar la obstrucción.  El material de la descarga varía según el tipo seleccionado de descarga (bordes cortados, orificios, embalses, elevadores).	Los drenajes subterráneos y descargas son adecuadas cuando la exfiltración e infiltración son deficientes (por debajo de 0.2 pulgadas por hora, poco común en Puerto Rico), cuando se utiliza un revestimiento impermeable o un nivel freático alto.

#### 2.1.4. CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN

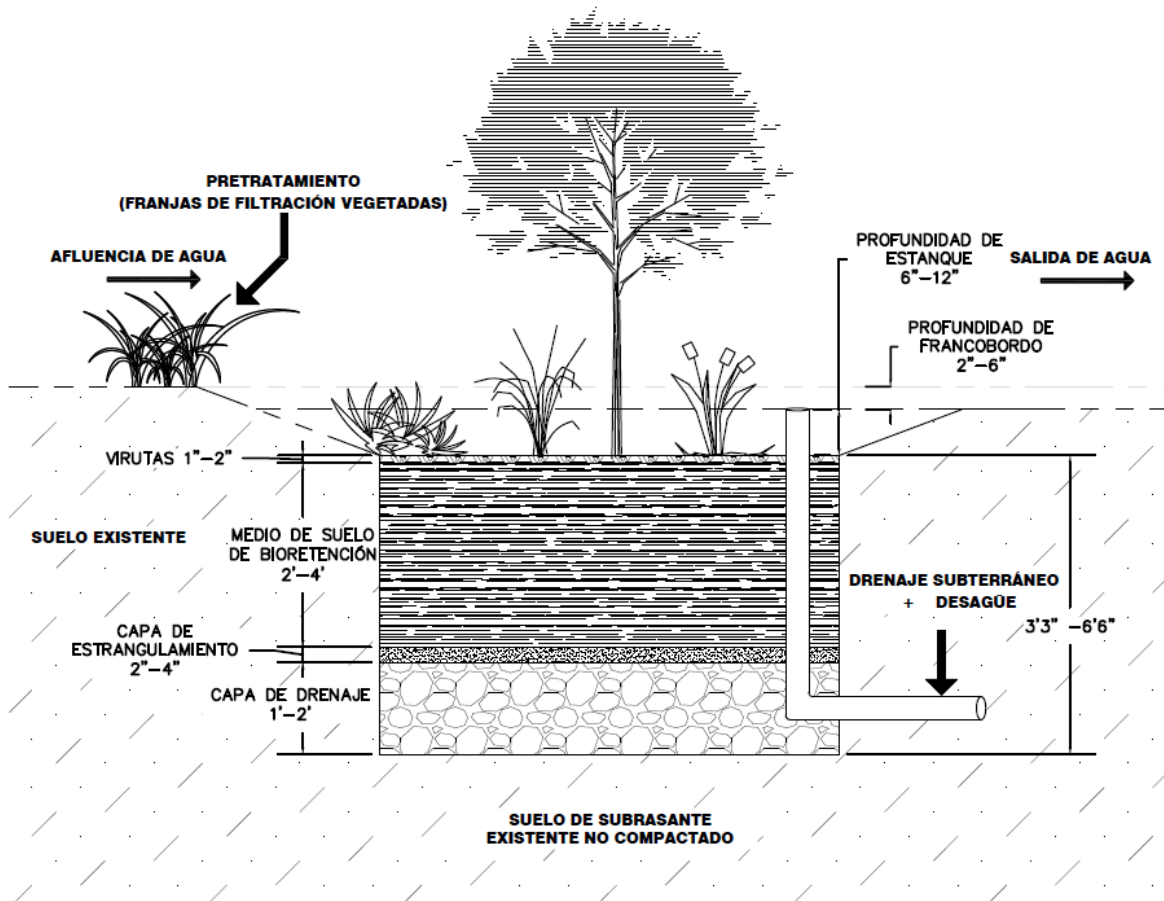
Una instalación adecuada es importante para evitar la compactación excesiva, lo que puede reducir la efectividad y capacidad de almacenamiento del sistema y provocar efectos a largo plazo sobre la efectividad del sistema. Se recomienda tener disponible una cantidad suficiente de material en la ubicación para una instalación y estabilización eficiente de las zonas expuestas. La piedra de drenaje debe rociarse o lavarse para quitar las partículas finas y evitar obstrucciones. También se puede producir una falla del sistema cuando la vegetación muere o comienza a morir luego de ser sembrada. No se puede pasar por alto la nivelación adecuada del terreno y la construcción de tomas (si aplica); además, es fundamental que la nivelación y dirección del flujo se planifiquen y comuniquen claramente durante el diseño. El diseño de estructuras simples suele ser la forma más sencilla de minimizar la excavación y simplificar la construcción. Los controles recomendados durante la construcción incluyen: (1) inspeccionar el BSM para asegurarse de que las piedras están limpias para eliminar las partículas finas, (2) asegurarse de que el subsuelo y el BSM no se hayan comprimido luego de la instalación, las tasas de infiltración se pueden probar luego de que cada capa sea añadida, e (3) inspeccionar el estado de las plantas antes y luego de la siembra. Luego de la construcción, los controles recomendados incluyen: (1) confirmar que el agua se drena hacia el sistema conforme al diseño y (2) inspeccionar el agua luego de un evento de precipitación (no debe haber charcos visibles luego de 24 a 48 horas). Si la biorretención forma parte de un gran proyecto, debe ser programada para construirse durante la etapa final de construcción para evitar la obstrucción con sedimentos y/o una carga pesada de equipo de construcción.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Agencia de Control de Contaminación de Minnesota. (2024). “Especificaciones de construcción para biorretención - Manual de aguas pluviales de Minnesota”. [https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Construction\\_specifications\\_for\\_bioretention](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Construction_specifications_for_bioretention).

### 2.1.5. SECCIONES TÍPICAS

Las funciones descritas en la Sección 2.1.3 se muestran a continuación en una sección típica cruzada de biorretención en la **Ilustración 2-4**.



**Ilustración 2-4. Ejemplo de una sección típica de biorretención.**

### 2.1.6. MONITOREO Y MANEJO ADAPTATIVO

Las inspecciones de rutina y la limpieza de los materiales no deseados (sedimentos, basura, material vegetal muerto, etc.) son importantes para mantener el estado del sistema de biorretención. Las tomas y desagües deben ser inspeccionadas por acumulación de sedimentos y limpias cuando la estructura supere el 50% de capacidad. Las barredoras de calles suelen ser herramientas útiles durante el tratamiento previo para evitar que la basura y los escombros entren al sistema. Se recomienda realizar inspecciones cada trimestre, lo que incluye buscar señales de erosión, acumulación o compresión excesiva. La existencia de charcos luego de 48 horas desde un evento de precipitación es una señal de que se ha producido una obstrucción en el sistema. Por lo general, la obstrucción suele producirse en las 3 a 6 pulgadas superiores de la capa de BSM; la

excavación y limpieza del material puede ser necesaria si esto ocurre. La capa de mantillo puede ser retirada y aplicada nuevamente a mano cada 2 a 3 años o según sea necesario. La vegetación debe tratarse como un activo. Sin importar la escala del sistema, la biorretención es un beneficio comunitario gracias a los beneficios estéticos, por lo que el mantenimiento, incluso cortar la grama, se debe realizar durante todo el año, como en cualquier zona de jardinería paisajista bien mantenida. El riego puede ser necesario durante periodos de sequía. El estado de la vegetación debe ser inspeccionado en busca de crecimiento excesivo o necesidad de reforestación. De ser necesario, la vegetación puede ser retirada y remplazada con un impacto mínimo o inexistente sobre el sistema general.<sup>8</sup>

Las comunidades locales y grupos ambientalistas/comunitarios pueden transformarse en colaboradores críticos para el desarrollo, monitoreo y mantenimiento del proyecto, especialmente para proyectos que deben ser construidos en espacios públicos. Estas colaboraciones pueden ser ventajosas para reducir los costos operativos y de mantenimiento, además de fomentar un sentimiento de titularidad y control entre los residentes cercanos y ciudadanos.

### 2.1.7. ESTIMADO DE COSTOS

Las zonas de biorretención en Puerto Rico varían de \$25 a \$35 por pie cuadrado. Se incluyen más detalles en la hoja informativa adjunta sobre el estimado de costos.

## 2.2. Pavimento permeable

### 2.2.1. DESCRIPCIÓN DE SOLUCIONES Y OBJETIVOS

El pavimento permeable reduce las escorrentías en una superficie impermeable para incrementar la evaporación, detención, filtración e infiltración del lugar. (Ilustración 2-5 y 2-6). Gracias a pequeñas aberturas y uniones permeables compuestas por granulados pequeños, las aguas pluviales pueden infiltrar más fácilmente en el suelo que con el pavimento tradicional. Esta reducción del área impermeable de un paisaje urbano mejora el drenaje localizado sin sacrificar la funcionalidad de una superficie pavimentada. Al incrementar la infiltración en el lugar, se minimizan asuntos como inundaciones locales y encharcamientos, especialmente durante eventos pequeños y frecuentes de precipitación. Con la instalación adecuada y las condiciones correctas de suelo, el



**Ilustración 2-5. Estacionamiento permeable en el Centro Guaynabo de la GSA luego de una lluvia por la tarde, que muestra el agua infiltrándose lentamente en el pavimento, recargando el agua subterránea y reduciendo las escorrentías en la ubicación. La zona mojada corresponde a pavimento estándar colocado para sostener un tráfico más intenso, mientras el resto del estacionamiento cubierto con pavimento permeable.**



pavimento permeable puede servir como un remplazo duradero, económico y adecuado para la cobertura impermeable tradicional.

### 2.2.2. ENTORNOS ADECUADOS PARA UNA IMPLEMENTACIÓN EXITOSA

Las condiciones del suelo, las pendientes, el uso del terreno y el grado de desgaste son consideraciones importantes al decidir si el pavimento permeable resultará adecuado para el lugar. Debido a las pequeñas aberturas y granulados del pavimento permeable, la superficie es más abrasiva y puede deteriorarse más rápidamente que las coberturas tradicionales; por lo tanto, las carreteras de alta velocidad o con mucho tráfico no son adecuadas. Además, las carreteras con mucho tráfico son zonas con alta carga de sedimentos, los que podrían obstruir los poros y limitar seriamente la infiltración.<sup>11</sup> Sin embargo, el pavimento permeable puede ser utilizado de forma eficiente en carreteras de baja velocidad, carriles de emergencia, estacionamientos, aceras o en partes de grandes zonas impermeables. En Puerto Rico, muchos municipios tienen plazas o plazuelas que pueden ser buenos candidatos para el pavimento permeable.

Para la colocación del pavimento permeable, la tasa aceptable mínima de infiltración en el suelo es de 0.5 pulgadas por hora.<sup>12</sup> La mayoría de la cobertura del suelo de Puerto Rico supera por mucho este límite. Los tres tipos de suelo más comunes de Puerto Rico, que totalizan el 65% de la masa de tierra de Puerto Rico son inceptisol, ultisols y mollisols.<sup>13</sup> Las tasas de infiltración de ocho horas de suelos inceptisol, que cubren el 30% de la masa de tierra de Puerto Rico, varían de 1.1 a 5.31 pulgadas por hora.<sup>14</sup> Las tasas para suelos ultisols, 20% de la masa de tierra de Puerto Rico, varían de 2.96 a 9.47 pulgadas por hora y los suelos mollisols, 15% de la masa de tierra de Puerto Rico, varían de 3.3 a 7.8 pulgadas por hora.<sup>14</sup> Por ende, se debe realizar una prueba de infiltración en las etapas preliminares del diseño para asegurar la idoneidad del suelo y seleccionar las ubicaciones óptimas. Si un suelo tiene una infiltración mala, los ingenieros pueden compensar esto al incrementar la profundidad de la subbase o añadir drenajes inferiores. Los estudios de la ubicación también deben verificar la elevación del nivel freático subterráneo y la presencia de un lecho de roca hueco, que puede limitar la profundidad de la infiltración.

Idóneamente, la pendiente de la ubicación debe ser inferior a 2%, pero las pendientes superiores a 2% pueden acomodarse añadiendo terraplén o trincheras alineadas con drenajes inferiores a lo

---

<sup>11</sup> Agencia para la Protección del Medio Ambiente. (2021). "Mejor práctica de manejo de aguas pluviales: Pavimentos permeables". <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/bmp-permeable-pavements.pdf>.

<sup>12</sup> Manejo de Aguas Pluviales de Tennessee. (sin fecha). "Manual de Manejo de Aguas Pluviales Permanentes y Orientación de Diseños de Tennessee - Capítulo 5,48 Pavimento permeable". <https://tnpermanentstormwater.org/manual/17%20Chapter%205.4.8%20Permeable%20Pavement.pdf#:~:text=In%20addition%2C%20permeable%20pavement%20should%20never%20be,infiltration%20rate%20of%200.5%20inches%20per%20hour>.

<sup>13</sup> Universidad de Puerto Rico. (2018). "Clasificación taxonómica de suelos en Puerto Rico, 2017". [https://www.uprm.edu/tamuk/wp-content/uploads/sites/299/2019/06/Taxonomic\\_classification\\_soils\\_PR\\_2018\\_reduced.pdf](https://www.uprm.edu/tamuk/wp-content/uploads/sites/299/2019/06/Taxonomic_classification_soils_PR_2018_reduced.pdf).

<sup>14</sup> López, M. A. Lugo, J. Juárez y J. A. Bonnet. (1968). "Tasa de infiltración relativa de los suelos de Puerto Rico". Revista de Agricultura de la Universidad de Puerto Rico. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v52i3.11510>.

largo de la pendiente. Los terrenos con pendientes inclinadas (superiores al 15%) no son adecuados, ya que las pendientes tan inclinadas pueden provocar desafíos de durabilidad y erosión.



**Ilustración 2-6. Estacionamiento permeable en Rincón, Puerto Rico (Protectores de Cuencas, 2024)**

### 2.2.3. MATERIALES Y EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN

Los elementos típicos de diseño para el pavimento permeable, resumidos de la Mejor Práctica de Manejo para Aguas Pluviales: Pavimentos permeables de la EPA,<sup>15</sup> el Manual de Aguas Pluviales de Minnesota<sup>15</sup> y la Guía de Pavimentos Permeables del Programa de Evaluación de Tecnologías Sostenibles de Toronto,<sup>16</sup> con consideraciones adicionales para las condiciones locales de Puerto Rico, se incluyen en la **Tabla 2-4** a continuación. Se debe tener en cuenta que existen muchas similitudes entre los materiales necesarios para biorretención y pavimentos permeables.

Además del equipo para el transporte de materiales, el equipo principal de construcción necesario es un rodillo de compresión vibrador. Es importante no comprimir de forma excesiva el suelo y se espera que no se realicen más de tres pasadas durante la construcción. Por lo general, se utiliza

---

<sup>15</sup> Agencia de Control de Contaminación de Minnesota. (2024). “Criterios de diseño para pavimento permeable - Manual de Aguas Pluviales de Minnesota”.

[https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Design\\_criteria\\_for\\_permeable\\_pavement](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Design_criteria_for_permeable_pavement).

<sup>16</sup> Programa de Evaluación de Tecnologías Sostenibles. (2012). “Hoja informativa de planificación y diseño de bajo impacto: Pavimento permeable”.

[https://wiki.sustainabletechnologies.ca/images/7/7e/Permeable\\_Pavement\\_Factsheet.pdf](https://wiki.sustainabletechnologies.ca/images/7/7e/Permeable_Pavement_Factsheet.pdf).

gran parte del mismo equipo y proceso de instalación que para el concreto convencional, pero con diferentes requisitos de manejo e instalación.<sup>16</sup>

**Tabla 2-4: Elementos de diseño del pavimento permeable**

Elemento de diseño	Descripción	Materiales	Aplicabilidad
<b>Tratamiento previo</b>	Se debe utilizar un tratamiento previo, como filtros con vegetación, para disipar energía y minimizar la erosión. Esto filtra el material grueso que puede obstruir el suelo y reducir la eficiencia de la infiltración del pavimento.	Los sistemas de pavimento permeable manejan directamente las precipitaciones o escorrentías del flujo laminar. Los tratamientos comunes de flujo laminar incluyen franjas de filtros con vegetación y membranas de gravilla.	Es aplicable para pavimento permeable con una zona de contribución de drenaje superior a 1/2 acre.
<b>Capa de lecho</b>	La capa de lecho provee una superficie nivelada y estable para la capa superficial permeable.	Esta capa suele tener de 1 a 2 pulgadas de grosor y estar compuesta de granulados pequeños y uniformes (AASHTO núm. 8, 3/8 a 1/2 pulgada).	Componente clave de cada sistema de pavimento permeable.
<b>Capa de filtro (embalse de la base)</b>	El embalse sirve como una capa de transición con una alta tasa de infiltración entre las capas de lecho y subbase.	Esta capa suele tener de 3 a 4 pulgadas de grosor y estar compuesta por piedras trituradas de forma uniforme de un tamaño intermedio (piedra AASHTO núm. 57, 3/4 a 3/16 de pulgada). El tamaño debe encontrarse entre el granulado del lecho y de la subbase.	Componente clave de cada sistema de pavimento permeable.
<b>Capa de drenaje (embalse de la subbase)</b>	Esta capa es el principal almacenamiento de agua y capa de apoyo.	La combinación recomendada de materiales de piedra para esta capa es de aproximadamente 3/4 de pulgada a 2.5 pulgadas en diámetro de tamaño (piedras AASHTO número 2, 3, 56, 57 y 67). Esta capa se suele encontrar entre 1 y 2 pies.	Puede no requerirse una capa de subbase para aplicaciones peatonales y suelos con buen drenaje.

Elemento de diseño	Descripción	Materiales	Aplicabilidad
<b>Capa de bloqueo o revestimiento</b>	Una capa de bloqueo o revestimiento se puede utilizar para separar el lecho del filtro de la capa de drenaje y limitar la migración de materiales.	Las capas de bloqueo suelen ser de 2 a 4 pulgadas de arena o gravilla (1/4 de pulgada hasta 1 pulgada de diámetro). Se pueden utilizar bolsas arpilleras de café como un revestimiento permeable. Los revestimientos impermeables incluyen revestimientos arados, capas de arcilla, revestimientos de geomembrana y revestimientos de concreto.	El uso de bloqueos y revestimientos es adecuado cuando hay zonas contaminadas en el suelo subterráneo. No deben ser utilizados en zonas con suelos de arcilla, ya que pueden obstruir los sistemas.
<b>Drenajes subterráneos y descargas</b>	Los drenajes subterráneos se utilizan cuando el suelo subterráneo tiene malas tasas de infiltración, para facilitar el drenaje del agua desde las capas de base y subbase. Al igual que en los sistemas de biorretención, las tuberías del drenaje subterráneo son drenadas hacia una estructura de descarga.	Los drenajes subterráneos suelen ser una tubería de PVC o HDPE de 4 a 6 pulgadas de diámetro con agujeros espaciados, se recomienda de 6 pulgadas para minimizar la obstrucción. El material de la descarga varía según el tipo seleccionado de descarga (bordes cortados, orificios, embalses, elevadores).	Los drenajes subterráneos son adecuados cuando la ubicación tiene una mala exfiltración, mala infiltración (por debajo de 0.2 pulgadas por hora), cuando se utiliza un revestimiento impermeable o un nivel freático con gran elevación.

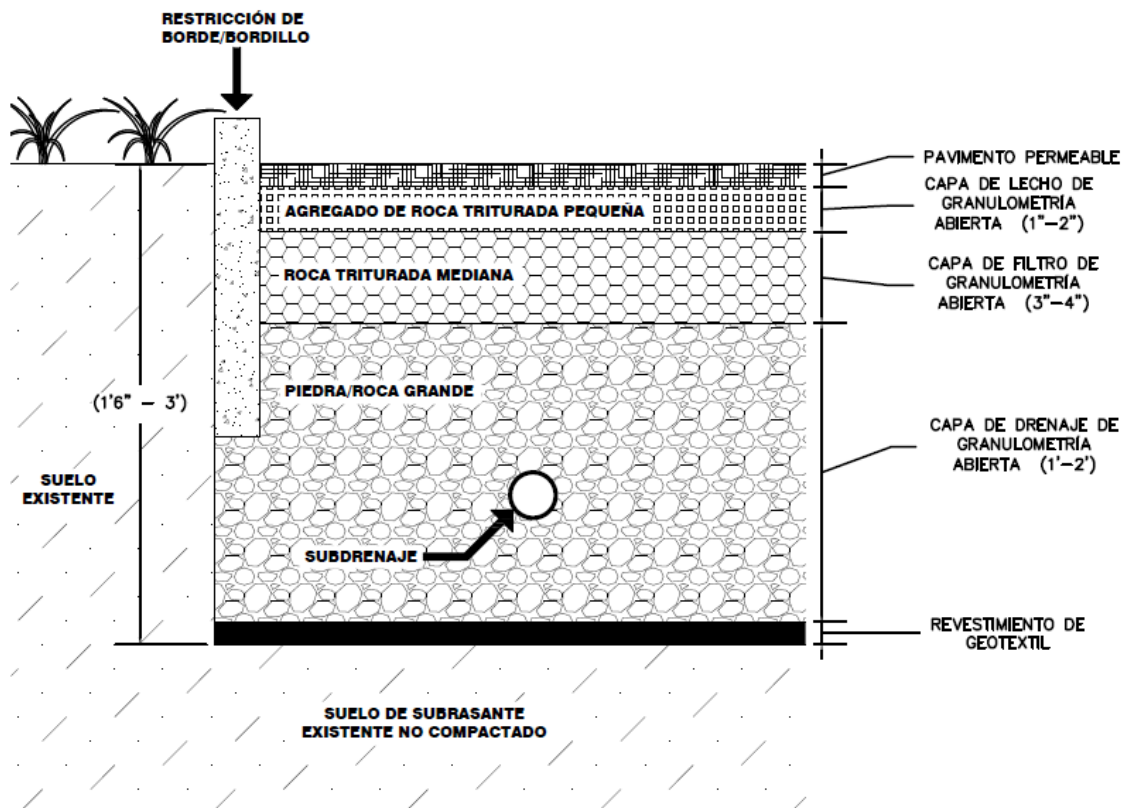
#### 2.2.4. CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN

Una instalación correcta es fundamental para la efectividad a largo plazo del pavimento permeable. Aunque las brigadas de construcción generalmente pueden utilizar equipo similar para las versiones permeables y convencionales del asfalto y concreto, las mezclas difieren levemente y tienen diferentes requisitos de manejo e instalación. Durante la compresión del asfalto poroso, se debe aplicar una presión mínima para evitar cerrar el espacio poroso y se debe evitar el tráfico vehicular durante 48 horas luego de la instalación.<sup>15</sup> El concreto permeable, como tiene un menor contenido de agua que el concreto tradicional, reduce significativamente el tiempo de manejo, por lo que necesita ser vertido en 1 hora desde su mezclado a menos que se utilicen aditivos para extender el tiempo de manejo. Al nivelar el concreto permeable con enfoscado, establecer 1/2 pulgada sobre la

altura acabada, se deben evitar las variables y el allanado para evitar el cierre de la superficie porosa.<sup>15</sup> La consolidación del concreto, generalmente con un rodillo vibrador de acero, se produce en 15 minutos desde la colocación.<sup>15</sup> Para proteger los pavimentos permeables de grandes cargas de sedimentos, los diseñadores deben implementar medidas previas al tratamiento como bandas de filtrado y cunetas para grandes zonas de contribución, lo que asegura una alta tasa de infiltración al evitar que los sedimentos entren a la base durante la construcción. El flujo de aguas pluviales desde zonas afectadas debe ser desviado del pavimento permeable hasta que se complete la estabilización, lo que puede demorar hasta una semana para sistemas de concreto. Si el pavimento permeable forma parte de un gran proyecto, se debe programar la instalación para la etapa final de construcción para evitar problemas de sedimentación o carga pesada de equipo de construcción.

### 2.2.5. SECCIONES TÍPICAS

Las funciones descritas en la Sección 2.2.4 se muestran en la **Ilustración 2-7** a continuación en una típica sección cruzada de pavimento permeable.



**Ilustración 2-7. Ejemplo de una sección típica de pavimento permeable**

### **2.2.6. MONITOREO Y MANEJO ADAPTATIVO**

El monitoreo y el mantenimiento son críticos ya que la obstrucción de los poros del pavimento es la principal preocupación para pavimentos permeables; además, los años y el uso pueden acelerar estas preocupaciones. Los sedimentos y otras partículas finas de los vehículos y otras fuentes pueden obstruir las aberturas y reducir la tasa de infiltración. Mientras más grande sea la zona de drenaje de la ubicación y mientras más frecuentemente sea utilizada, más relevante será este asunto. El aspirado de la ubicación y el lavado a presión son los métodos de mantenimiento más comunes para retirar los sedimentos acumulados y restaurar la permeabilidad. Se recomienda el monitoreo cada 6 meses durante los primeros 2 años y anualmente luego de eso para medir las tasas de infiltración. Se recomienda un barrido mensual de escombros. Además, el aspirado o lavado a presión se debe realizar cuando sea necesario; es decir, cuando las tasas de infiltración caigan por debajo de un límite predeterminado o no menos de una vez cada 18 meses.<sup>17</sup>

### **2.2.7. ESTIMADO DE COSTOS**

Los pavimentos permeables en Puerto Rico tienen un valor promedio de \$8 a \$12 por pie cuadrado. Se incluyen más detalles en la hoja informativa sobre el estimado de costos.

## **2.3. Recolección de aguas de lluvia**

### **2.3.1. DESCRIPCIÓN DE SOLUCIONES Y OBJETIVOS**

Los sistemas de recolección de aguas de lluvia (RWH, por sus siglas en inglés) recolectan, desvían y almacenan aguas de lluvia para usos futuros. Estos sistemas pueden variar enormemente en su escala, desde un barril de lluvia para patios traseros que almacena menos de 50 galones hasta un gran tanque o cisterna de almacenamiento con capacidad para miles de galones. El agua almacenada se puede utilizar para irrigación, consumo o uso doméstico general. Al capturar y desviar las aguas de lluvia, se reduce el total de escorrentías de una ubicación, lo que reduce el riesgo de inundación en zonas aguas abajo. Este beneficio de reducción de inundaciones puede maximizarse al asegurarse de que el tanque de almacenamiento se vacíe antes de un evento de lluvias fuertes, para que se pueda capturar y desviar una mayor cantidad de agua.

Además de la reducción de escorrentías, la recolección de aguas de lluvia es una medida económica y sostenible de resiliencia para diversificar el suministro de agua en Puerto Rico. También existen valiosas aplicaciones de la recolección de aguas de lluvia para el sector agrícola. En tiempos de crisis, tener acceso a los sistemas de recolección de aguas de lluvia puede marcar la diferencia entre la vida y la muerte. Los recientes huracanes y tormentas tropicales severas en Puerto Rico han dejado a algunas comunidades sin electricidad y/o agua. En algunos casos, por ejemplo, hasta cuatro meses, como ocurrió durante el huracán María. Las tendencias del promedio de precipitaciones anuales no son significativamente diferentes a las del promedio del periodo entre

---

<sup>17</sup> Ciudad de Melbourne. (2019). "Resultados del mantenimiento y monitorización de los pavimentos permeables". [https://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/wp-content/uploads/2021/07/Permeable-pavements-maintenance-and-monitoring-outcomes\\_20191219\\_Final-Introduction.pdf](https://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/wp-content/uploads/2021/07/Permeable-pavements-maintenance-and-monitoring-outcomes_20191219_Final-Introduction.pdf).

1925 y 2020. Sin embargo, los eventos de precipitaciones fuertes (> 3 pulgadas por día) y los periodos de sequías tienen cada vez más frecuencia, lo que indica que, aunque las precipitaciones anuales no cambien, los eventos de precipitaciones y sequías severas están incrementando.<sup>3</sup> Por lo tanto, adoptar medidas para capturar y almacenar aguas de lluvia puede apoyar las medidas de manejo de escorrentías al abordar inundaciones localizadas, mientras proveen un suministro de agua potable.

Aunque esta sección se enfoca en el diseño y los costos para un sistema residencial de RWH conectado a las tuberías interiores de una vivienda, los barriles de lluvia para patios a pequeña escala (*drones* en español) también pueden tener una función útil en este espacio. Estos tipos de barriles o baldes para lluvia se pueden utilizar para regar la vegetación, el césped o incluso jardines vegetales de propietarios de viviendas. Estos ya son comúnmente utilizados en Puerto Rico, especialmente en las comunidades más rurales.

### 2.3.2. ENTORNOS ADECUADOS PARA UNA IMPLEMENTACIÓN EXITOSA

En las Islas Vírgenes de Estados Unidos, es un requisito que cada construcción nueva tenga un sistema de suministro de agua autosostenible, como un sistema de recolección de aguas pluviales.<sup>18</sup> Esto se debe a las limitadas aguas subterráneas o la falta de un río considerable en las cuencas. Los sistemas de RWH son una alternativa excelente, a veces la única disponible, para zonas rurales y aisladas que enfrentan estos retos. El Instituto de Salud Ambiental del Caribe y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas han sido fundamentales en el desarrollo de la orientación para sistemas de recolección de aguas de lluvia a pequeña escala que están bien adaptados para los entornos del Caribe y abogando por cambios de políticas y actitudes respecto a los RWH.

#### ¿Cuánta agua puede capturar un techo?

Suministro = precipitación (mm/año) x área del techo (m<sup>2</sup>) x coeficiente de escorrentías x 0.22 = galones por año

Coefficientes de escorrentías para tipos comunes de techos:

Azulejo: 0.8-0.9

Metal corrugado: 0.7-0.9

Concreto: 0.6-0.8

A pesar del éxito en otras partes del Caribe, los RWH en Puerto Rico se encuentran limitados, aunque cada vez hay más interés. La organización Ridge to Reefs<sup>19</sup> es pionera en este espacio y han ayudado al apoyar a fincas pequeñas mediante asistencia directa para RWH y sistemas de filtración. Además, la organización sin fines de lucro Plenitud PR<sup>20</sup> tiene un programa para ayudar a financiar e instalar sistemas de RWH comunitarios y hogareños en el municipio de Las Marías. El gobierno municipal de Canóvanas recibió financiamiento federal mediante la Ley del Plan de Rescate Americano (ARPA, por sus siglas en inglés) para instalar cisternas residenciales para aguas

<sup>18</sup> Agencia para la Protección del Medio Ambiente. (2022). "Manual de Protección Ambiental de las Islas Vírgenes Estadounidenses". <https://dpr.vi.gov/wp-content/uploads/2023/08/2022-VI-Environmental-Protection-Handbook-Full.pdf>.

<sup>19</sup> Ridge to Reefs. (2024). "Ayuda en huracanes y terremotos - Desarrollo de resiliencia en Puerto Rico". <https://www.ridgetoreefs.org/relief-for-puerto-rico>.

<sup>20</sup> Plenitud PR. (2023). "Seguridad del agua en Puerto Rico". <https://www.plenitudpr.org/watersecurity>.

de lluvia mediante el programa Llevar Agua al Campo.<sup>21</sup> De forma similar, el gobierno municipal de Carolina también recibió financiamiento de ARPA para instalar cisternas de 400 galones en viviendas de ciudadanos cualificados del municipio.<sup>22</sup> Sería beneficioso que más municipios y propietarios de viviendas consideren establecer programas o prácticas de RWH como un método económico y efectivo para apoyar a las comunidades que históricamente han estado en riesgo de perder su acceso al agua luego de eventos severos.

### 2.3.3. MATERIALES Y EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN

Sin importar la escala o complejidad del sistema, los sistemas completos de recolección de aguas de lluvia conectados a las tuberías interiores de una vivienda incluyen seis componentes básicos, descritos en la **Tabla 2-5** a continuación. La información en esta tabla está resumida del Manual de Texas sobre Recolección de Aguas de Lluvia,<sup>23</sup> con consideraciones adicionales para las condiciones locales de Puerto Rico y del Manual para Recolección de Aguas de Lluvia para el Caribe.<sup>24</sup>

**Tabla 2-5: Seis componentes básicos de un sistema de recolección de aguas de lluvia**

Componentes básicos	Descripción	Materiales
<b>Superficie de captura</b>	La superficie de captura es la superficie de recolección desde donde escurre el agua de lluvia, generalmente el techo de un edificio o vivienda.	Los dos tipos más comunes de techos en Puerto Rico son techos metálicos y de concreto. Los techos metálicos son compatibles con los sistemas de recolección de aguas de lluvia debido a la superficie lisa y plana. Los techos de concreto o arcilla son porosos, por lo que el sistema será algo ineficiente. Para reducir la pérdida de agua, los techos se pueden recubrir con sellador, que también previene el crecimiento de bacterias.

<sup>21</sup> Metro Puerto Rico. (2021). "Llevarán e instalarán cisternas en comunidades de Canóvanas". <https://www.metro.pr/pr/noticias/2021/11/01/llevaran-e-instalaran-cisternas-en-comunidades-de-canovanas.html>.

<sup>22</sup> Municipio Carolina. (sin fecha). "Alcalde Aponte inspecciona proyectos de instalación de cisternas." <https://www.municipiocarolina.com/alcalde-aponte-inspecciona-proyectos-de-instalacion-de-cisternas/>.

<sup>23</sup> Junta de Desarrollo de Agua de Texas. (2005). "El Manual de Texas sobre Recolección de Aguas de Lluvia". [https://www.twdb.texas.gov/publications/brochures/conservation/doc/RainwaterHarvestingManual\\_3rdedition.pdf](https://www.twdb.texas.gov/publications/brochures/conservation/doc/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf).

<sup>24</sup> Instituto de Salud Ambiental del Caribe y Programa Ambiental de las Naciones Unidas. (2009). "Manual para Recolección de Aguas de Lluvia para el Caribe". [https://carpha.org/saintlucia/Rain/Rainwater%20Harvesting%20Toolbox/Media/Print/RWH\\_handbook.pdf](https://carpha.org/saintlucia/Rain/Rainwater%20Harvesting%20Toolbox/Media/Print/RWH_handbook.pdf).



Componentes básicos	Descripción	Materiales
<p><b>Canal de desagüe y bajante pluvial</b></p>	<p>Los canales de desagüe se utilizan para capturar el agua de lluvia que escurre desde los aleros de un edificio.</p>	<p>Los canales de desagüe se deben instalar en una pendiente (como mínimo de 1/8 de pulgada por pie) hacia la tubería de desagüe. Según el tamaño de las canaletas, área del techo e intensidad de las precipitaciones, se puede producir un rebosamiento o sobrecarga. Es importante prestar atención a la cantidad de tuberías de desagüe. Además, se debe evitar una gran distancia entre el techo y las tuberías. Es importante el mantenimiento de las canaletas en los sistemas de cada tamaño.</p>
<p><b>Mallas, desvíos y lavadoras</b></p>	<p>Se necesitan filtros para retirar grandes escombros que se acumulan en el techo, reducir las obstrucciones del sistema y asegurar la calidad del agua.</p> <p>Un desvío de primera descarga se puede utilizar para alejar el primer flujo (que generalmente tiene la mayor cantidad de escombros y partículas) del tanque de almacenamiento. Puede ser desviado hacia una zona plantada debajo del sistema.</p> <p>Las lavadoras se colocan sobre el tanque de almacenamiento para filtrar los pequeños escombros de los sistemas potables (consumibles).</p>	<p>Las mallas de hojas gruesas capturan los escombros de las superficies de captura en zonas con árboles por encima. Los tipos de mallas de hojas incluyen protecciones de hojas (malla de 1/4 de pulgada), filtros de cesta, un cilindro de malla enrollada insertado en la salida, medias de filtro con malla de nailon instalados en la tubería de PVC o un filtro en la tubería de desagüe en forma de embudo de PVC o de acero cortado. En regiones tropicales, las mallas finas a prueba de insectos también son útiles en la entrada y salida del tanque.</p> <p>El desvío de primera descarga más simple es un tubo vertical de PVC de 6 a 8 pulgadas que drena hacia un agujero o malla floja. La válvula de bola es una variación del tubo vertical: a medida que se llena la cámara, la bola flota hacia arriba y sella la base, para cortar efectivamente la primera descarga de agua y desviar el resto de agua hacia el tanque de almacenamiento.</p> <p>Una lavadora cuadrada para techos es un tanque comercialmente disponible de 30 a 50 galones con filtros para hojas y uno o dos filtros de 30 micrómetros. Se coloca en un pedestal junto al tanque de almacenamiento y debe ser fácilmente accesible para su limpieza.</p>

Componentes básicos	Descripción	Materiales
<b>Tanques de almacenamiento/cisternas</b>	El tanque de almacenamiento (por encima del suelo) o cisterna (subterránea) almacena el agua para su uso.	<p>El tamaño del tanque de almacenamiento varía según la escala y el uso previsto del sistema. El tanque debe ser opaco (se puede lograr con pintura) para evitar el crecimiento de algas. El tanque de almacenamiento sobre el suelo común de PVC ha aparecido como la opción preferida para los sistemas de RWH del Caribe debido a su bajo costo y los menores requisitos necesarios de mantenimiento para este tipo de tanque. El tanque se puede cubrir con rejillas de ventilación con malla para evitar la reproducción de mosquitos y debe ser fácilmente accesible para su limpieza.</p> <p>El Instituto de Salud Ambiental del Caribe y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas desarrollaron un documento guía para consultar los requisitos estimados de almacenamiento y el tamaño recomendado de tanque de almacenamiento o cisterna según la demanda, cantidad de precipitaciones y tamaño de techo.<sup>25</sup> Los tamaños típicos de tanques utilizados para sistemas RWH residenciales en las zonas del Caribe varían de 400 a 2,000 galones para una familia de una a cuatro personas.<sup>24</sup></p>

---

<sup>25</sup> Instituto de Salud Ambiental del Caribe y Programa Ambiental de las Naciones Unidas. (sin fecha). "Recolección de aguas de lluvia en el Caribe: Requisitos estimados de almacenamiento".  
[https://carpha.org/saintlucia/Rain/Rainwater%20Harvesting%20Toolbox/Media/Print/Techsheat-3A\\_B.pdf](https://carpha.org/saintlucia/Rain/Rainwater%20Harvesting%20Toolbox/Media/Print/Techsheat-3A_B.pdf).

Componentes básicos	Descripción	Materiales
<b>Sistema de entrega</b>	Se pueden utilizar tanques o bombas de presión entre el tanque de almacenamiento y la vivienda o uso previsto.	Para lograr una presión suficientemente alta de agua, el tanque de agua se debe encontrar alrededor de 90 pies sobre la vivienda, utilizando únicamente la gravedad. Generalmente no es posible lograr esto, por eso las bombas son necesarias para lograr la presión suficiente. La figura típica de bomba y tanque de presión consiste en una bomba de 3/4 a 1 caballo de fuerza (bomba inyectora de pozo poco profundo o bomba centrífuga multigradual), la válvula de retención y presostato. De forma alternativa, las bombas “por encargo” eliminan la necesidad de un tanque de presión. Estas combinan cada elemento en una unidad única.
<b>Tratamiento / purificación</b>	Para un sistema no potable (no consumible), las mallas de hojas y lavadoras de techo pueden ser suficiente y este paso no es necesario. Para sistemas potables, el tratamiento es crítico para quitar los patógenos que provocan enfermedades.	Los tipos más comunes de sistemas de desinfección incluyen filtros de cartucho y luz ultravioleta (UV), ozono, cloración y filtros de membrana. Un método de hervido simple (3 minutos a 100 °C) es una alternativa económica para eliminar bacterias sin aditivos químicos.

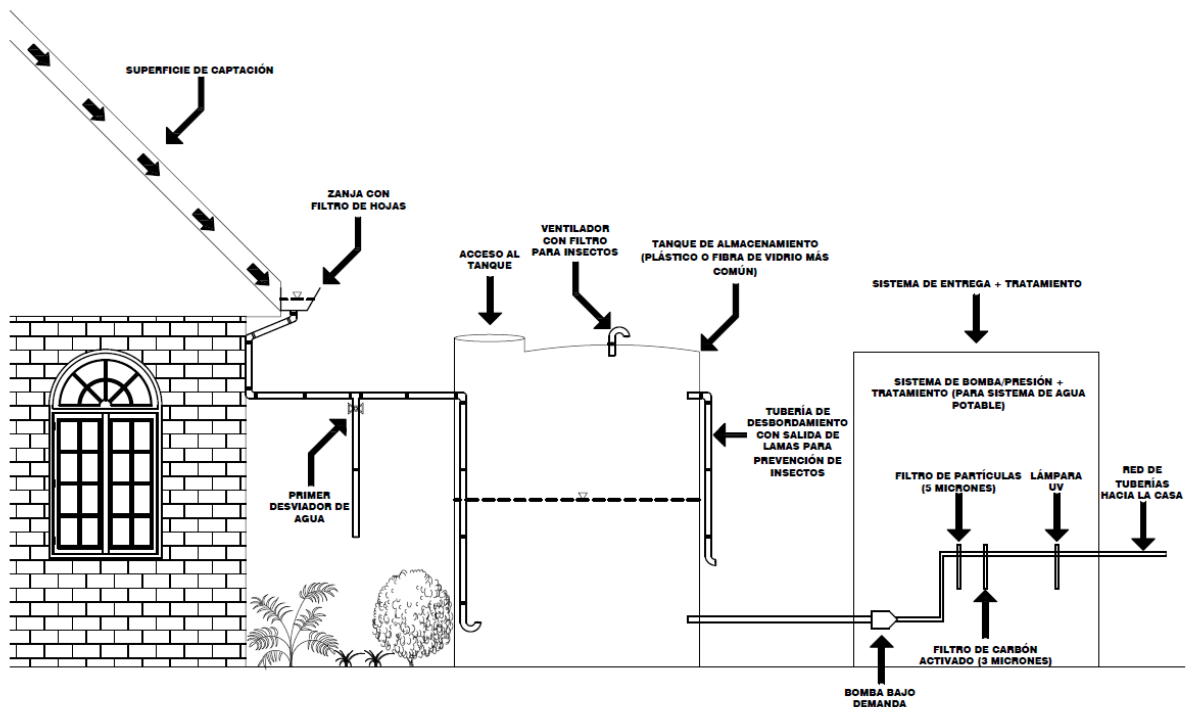
#### 2.3.4. CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN

Las principales consideraciones de construcción en las etapas de preparación son (1) qué tan grandes serán las necesidades del sistema y (2) para qué se utilizará el agua. El Instituto de Salud Ambiental del Caribe y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas desarrollaron un documento guía para consultar los requisitos estimados de almacenamiento y el tamaño recomendado de tanque de almacenamiento o cisterna según la demanda, cantidad de precipitaciones y tamaño de techo para aplicaciones residenciales.<sup>25</sup> Si el agua se utilizará únicamente para irrigación, el paso de filtrado y desinfección no es necesario, pero es crítico si el uso previsto del agua es su consumo. Debe tenerse en cuenta que los sistemas residenciales pueden ser establecidos para no desinfectar el 100% del agua. El agua utilizada para inodoros, limpieza, lavar ropa, jardinería, etc. no necesita ser desinfectada. Si las tuberías están colocadas de forma que permita esto, se puede incrementar significativamente la vida útil de los sistemas de desinfección.

Sin importar la escala o el uso del sistema, la limpieza y el mantenimiento son críticos para la recolección de aguas de lluvia. Por lo tanto, se debe poder acceder fácilmente a cada componente. Mallas, desvíos y lavadoras son componentes que suelen obstruirse la mayor parte del tiempo ya que capturan los escombros más grandes.

### 2.3.5. SECCIONES TÍPICAS

Las funciones descritas en la Sección 2.3.3 se muestran en la **Ilustración 2-8** a continuación en un sistema típico de recolección de aguas de lluvia.



**Ilustración 2-8. Ejemplo de un sistema residencial típico de recolección de aguas de lluvia.**

### 2.3.6. MONITOREO Y MANEJO ADAPTATIVO

El mantenimiento es importante para los sistemas de recolección de aguas de lluvia independiente del tamaño. Se requiere una limpieza regular de cada parte del sistema para evitar obstrucciones y fallas del sistema. En la mayoría de los casos, los componentes como los canales de desagüe, tuberías de desagüe y mallas necesitan una limpieza mensual. Los escombros como hojas y ramas se pueden acumular fácilmente luego de eventos de precipitaciones y eventualmente afectar la calidad del agua del sistema. Los tanques requieren un mantenimiento menos frecuente. En la mayoría de los casos, una inspección cada 2 años es suficiente si las otras partes del sistema se mantienen en buena condición. Para sistemas potables, los filtros de tratamiento deben ser reemplazados, pero la frecuencia depende del tipo utilizado. Los sistemas de luz UV están diseñados

con una unidad de escobilla y no se recomienda la limpieza manual. Los filtros de partículas y carbón activado suelen necesitar un remplazo regular; su frecuencia es especificada por el fabricante de los filtros seleccionados. Si se detectan olores o sabores en el sistema, el usuario debe detener inmediatamente el uso potable.

### **2.3.7. ESTIMADO DE COSTOS**

Un sistema típico de RWH potable para una vivienda unifamiliar (familia de cuatro que utiliza un sistema de 2,000 galones) en Puerto Rico varía de \$10,000 a \$16,000. Para una familia de una única persona, los costos para un sistema de 500 galones varían de \$4,000 a \$6,000. Se incluyen más detalles en la hoja informativa sobre el estimado de costos. Para una escala menor, los sistemas RWH de 200 galones están diseñados para usos no potables (irrigación, jardinería, limpieza, lavado de ropa, etc.) y los costos varían de \$3,000 a \$5,000.

También debe tenerse en cuenta que la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado de Puerto Rico puede requerir que se coloque un medidor de agua en el extremo de salida de la tubería de alcantarillado sanitario en una vivienda o edificio parcial o totalmente suministrado por aguas de lluvia. Esto busca medir el volumen que se descargará en el sistema sanitario y que se tratará en una de sus instalaciones de tratamiento de aguas residuales. De esta manera, pueden manejar y cobrar por el servicio.

### 3. Consideraciones de manejo reglamentario

La infraestructura de aguas pluviales de Puerto Rico demuestra un alto grado de descentralización. Como resultado, actualmente no existe un inventario integral de los activos disponibles de infraestructura para aguas pluviales en Puerto Rico. Según la EPA, hasta el 2018, había 85 sistemas de alcantarillado de agua de escorrentía municipales autorizados por separado (MS4) a lo largo del archipiélago.<sup>26</sup> Estos sistemas dependen de la jurisdicción de diferentes municipios, instituciones y/o agencias gubernamentales. Por ejemplo, dentro del municipio de San Juan, varias entidades públicas —que incluyen al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), al Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP) y al municipio— supervisan distintos segmentos de la infraestructura de aguas pluviales.<sup>26</sup> Esta división de la responsabilidad administrativa presenta obstáculos para lograr un entendimiento integral de estos activos, mientras que al mismo tiempo subraya las oportunidades para mejorar la colaboración entre las partes interesadas a nivel local. En general, los municipios en todo Puerto Rico tienen varios grados de organización de información sobre infraestructura de aguas pluviales, pero la información geoespacial integral es muy limitada, incluso en San Juan.

Las funciones de manejo de aguas pluviales son principalmente responsabilidad de los municipios, que solicitan los permisos administrados por la EPA para descargar las aguas pluviales en las vías fluviales. Sin embargo, la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado de Puerto Rico (AAA) maneja las escorrentías en estas zonas urbanas donde mantiene una serie de sistemas de alcantarillado combinado que transportan aguas residuales y aguas pluviales. Las aguas pluviales también son manejadas por el DTOP y la Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico (ACT), en zonas donde drenan desde carreteras y autopistas estatales.<sup>26</sup> En un esfuerzo por estandarizar las prácticas del sistema de alcantarillado de agua de escorrentía, la Junta de Planificación de Puerto Rico publicó el documento *Normas para el diseño, operación y mantenimiento de sistemas de alcantarillado de agua de escorrentía en Puerto Rico* en abril de 2023.<sup>27</sup> Este documento incluye orientación en español sobre el diseño de prácticas de manejo de aguas pluviales con desarrollo de bajo impacto, incluso charcos de biorretención, jardines de lluvia, pavimento permeable, techos verdes y zanjas con vegetación.

---

<sup>26</sup> Preston, B.L, et. al. (2020). Más allá de la recuperación: Transformando el sector del agua en Puerto Rico como resultado de los huracanes Irma y Maria. Centro de Análisis Operativo de Seguridad Nacional operado por la Corporación RAND. [https://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RR2608.html](https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2608.html).

<sup>27</sup> Junta de Planificación. (2023). “Reglamento para el Diseño, Criterios de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillados Pluviales en Puerto Rico”. <https://jp.pr.gov/wp-content/uploads/2023/05/JP-RP-40-Reglamento-de-Planificacion-Num.-40-Sello-Estado-1.pdf>.

## 4. Casos de estudio

### 4.1. Centro de la Administración de Servicios Federales de Estados Unidos en Guaynabo

Las instalaciones del Centro de la Administración de Servicios Generales (GSA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos en Guaynabo sirve como un ejemplo exitoso de varios tipos de funciones SNBN para aguas pluviales. El proyecto fue implementado entre 2019 y 2023 e incorporó varias de las funciones SNBN mencionadas en esta guía (**Ilustración 2-2** e **Ilustración 2-5**). El objetivo principal de incorporar funciones SNBN en esta ubicación fue mitigar estratégicamente las escorrentías de aguas pluviales, reduciendo su efecto sobre el sistema sobrecargado de aguas pluviales de la ciudad durante precipitaciones intensas. Más allá de sus beneficios inmediatos, este proyecto funciona como un modelo ejemplar para integrar funciones SNBN de forma efectiva dentro de las restricciones de un panorama urbano, ofreciendo conocimientos valiosos para proyectos similares.

Las mejoras clave incluyen zonas de biorretención diseñadas y adornadas con vegetación nativa, como césped alto, árboles y otras plantas que no necesitan mucho mantenimiento. Estas zonas sirven el propósito doble de retención y filtración natural, mientras que capturan sedimentos y contaminantes de forma efectiva. Se añadió pavimento poroso dentro de zonas con poco tráfico del estacionamiento para reducir las escorrentías e incrementar la recarga de agua subterránea. El charco de detención está delineado con césped y es una función notable en el estacionamiento trasero de la instalación, lo que ofrece una experiencia estética placentera para el personal y los visitantes que caminan desde y hacia sus automóviles. A su vez, el charco de detención maneja las escorrentías y facilitan la absorción de nutrientes mediante la vegetación. Alrededor del edificio, las jardineras contribuyen al tratamiento de aguas pluviales y su infiltración mientras crean espacios verdes que mejoran la estética de la ubicación e incrementan la sostenibilidad. Al adoptar estas medidas SNBN, el proyecto aborda los retos de aguas de pluviales en la ubicación y mejora la calidad ambiental general y la resiliencia de la instalación gubernamental de la GSA, que establece un precedente para el desarrollo urbano sostenible en Puerto Rico. Una vista de diseño plano de estas funciones se muestra en la **Ilustración 4.1**.



**Ilustración 4-1. Vista aérea de las SNBN de la instalación de la GSA**

A medida que evoluciona este proyecto recientemente construido, son importantes el mantenimiento y los monitoreos regulares a corto plazo para asegurarse de que las funciones SNBN tengan un rendimiento óptimo. Las inspecciones regulares serán cruciales para garantizar que las celdas de biorretención, cajas jardineras y otros elementos integrados mitiguen de forma efectiva las escorrentías de aguas pluviales. La vigilancia contra especies invasivas será imperativa; evaluaciones periódicas serán necesarias para identificar y abordar posibles amenazas a las especies nativas que se plantaron. Además, las medidas proactivas son fundamentales, incluso la inspección y limpieza de entradas de desagües para la cuenca de detención y zonas de charcos al frente de la instalación. Prevenir la acumulación de pavimentos en estos componentes críticos es fundamental para sostener su funcionalidad y minimizar el riesgo de obstaculizar las escorrentías.



Para incrementar el impacto de este proyecto, se recomienda la incorporación de materiales educativos, como rótulos que expliquen el propósito y los beneficios de cada función SNBN en toda la ubicación como una mejora futura (**Ilustración 4-2**). Proveer información clara puede fomentar un mayor entendimiento de la importancia ambiental del proyecto, exhortar un uso responsable y una apreciación de las SNBN. El éxito de este proyecto depende de un enfoque proactivo y adaptativo del mantenimiento para garantizar la larga duración y efectividad continua de las funciones SNBN implementadas.



**Ilustración 4-2. Una mejora futura recomendada para la ubicación de la GSA es la incorporación de rótulos educativos, como los visibles en el este jardín de lluvias en la Ciudad de Omaha, NE. (EPA, 2023).**

## 4.2. Diseño conceptual de una plaza comunitaria

Las plazas comunitarias tienen una gran importancia en Puerto Rico, ya que sirven como centros dinámicos de interacción social, expresión cultural y unión comunitaria. Casi todas las comunidades de Puerto Rico tienen una plaza en el centro del pueblo donde cada vecino puede reunirse para celebrar, llorar o simplemente conectar, y así reforzar los lazos que unen a las comunidades y enriquecen la estructura de la sociedad de Puerto Rico. Como estos espacios son importantes para los 78 municipios de Puerto Rico, representan una oportunidad única para incorporar elementos SNBN en un espacio prominente de la comunidad que de otra forma sería totalmente impermeable.

Añadir funciones SNBN adicionales dentro de la plaza, como pavimento permeable y jardineras para aguas pluviales con vegetación nativa, serían medidas positivas para seguir incrementando la infiltración y reducir el volumen general de escorrentías en la zona. Más importante, considerando el carácter social de las plazas, sirven como ubicaciones ideales para iniciativas educativas si se añaden rótulos que comuniquen efectivamente los beneficios de las SNBN y sirvan como ejemplo de otras SNBN para el municipio. Las plazas comunitarias son un gran primer paso que los municipios pueden tomar para explorar las SNBN para el manejo de aguas pluviales, mientras que incrementan

la cobertura de vegetación y reducen los efectos isleños de calor dentro de alrededores con una urbanización densa.

La **Ilustración 4-3** muestra un diseño conceptual de una plaza típica de Puerto Rico. Para incrementar la infiltración y reducir las escorrentías en la ubicación, la superficie pavimentada debería ser remplazada con una combinación de pavimento permeable y zonas con césped. Una consideración importante es que las plazas son espacios peatonales, por lo que se necesitan aceras pavimentadas para facilitar caminar en la ubicación. Las celdas de biorretención y las cajas jardineras son buenos candidatos para una plaza y tienen el doble beneficio de embellecer el espacio. Además de las funciones SNBN actuales, se recomienda añadir rótulos para comunicar el propósito de la función para educar a la comunidad. Se recomienda la incorporación de árboles en los bordes exteriores de la plaza y junto a los bancos para mantener la sensación de espacio abierto, proveer sombra para peatones, disminuir las temperaturas del ambiente y crear un atractivo estético para los conductores de las calles adyacentes.



**Ilustración 4-3. Diseño Conceptual de una plaza comunitaria.**

## 5. Referencias

- Instituto de Salud Ambiental del Caribe y Programa Ambiental de las Naciones Unidas (2009). “Manual para Recolección de Aguas de Lluvia para el Caribe”.  
[https://carpha.org/saintlucia/Rain/Rainwater%20Harvesting%20Toolbox/Media/Print/RWH\\_handbook.pdf](https://carpha.org/saintlucia/Rain/Rainwater%20Harvesting%20Toolbox/Media/Print/RWH_handbook.pdf) .
- Instituto de Salud Ambiental del Caribe y Programa Ambiental de las Naciones Unidas (sin fecha). “Recolección de aguas de lluvia en el Caribe: Requisitos estimados de almacenamiento”.  
[https://carpha.org/saintlucia/Rain/Rainwater%20Harvesting%20Toolbox/Media/Print/Tech\\_sheet-3A\\_B.pdf](https://carpha.org/saintlucia/Rain/Rainwater%20Harvesting%20Toolbox/Media/Print/Tech_sheet-3A_B.pdf).
- Ciudad de Melbourne (2019). “Resultados del mantenimiento y monitoreo de los pavimentos permeables”. [https://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/wp-content/uploads/2021/07/Permeable-pavements-maintenance-and-monitoring-outcomes\\_20191219\\_Final-Introduction.pdf](https://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/wp-content/uploads/2021/07/Permeable-pavements-maintenance-and-monitoring-outcomes_20191219_Final-Introduction.pdf) .
- Consejo para el Cambio Climático de Puerto Rico (2022). “Estado del Clima de Puerto Rico 2014-2021”. [https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2022/10/PR\\_StateOfTheClimate\\_2014-2021\\_PRCCC-09-2022.pdf](https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2022/10/PR_StateOfTheClimate_2014-2021_PRCCC-09-2022.pdf).
- Agencia de Protección Ambiental (2021). “Manual de diseño de biorretención: diseño de biorretención holística para rendimiento y longevidad”.  
[https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-11/bioretentiondesignhandbook\\_plainnov2023.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-11/bioretentiondesignhandbook_plainnov2023.pdf).
- Agencia de Protección Ambiental (2021). “La mejor práctica de manejo de aguas pluviales, la biorretención (jardines de lluvia)”. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/bmp-bioretention-rain-gardens.pdf>.
- Agencia de Protección Ambiental (2021). “Mejor práctica de manejo de aguas pluviales: pavimentos permeables”. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/bmp-permeable-pavements.pdf>.
- Agencia de Protección Ambiental (2022). “Manual de Protección Ambiental de las Islas Vírgenes de Estados Unidos”. [https://dpnr.vi.gov/wp-content/uploads/2023/08/2022-VI-Environmental-Protection-Handbook\\_Full.pdf](https://dpnr.vi.gov/wp-content/uploads/2023/08/2022-VI-Environmental-Protection-Handbook_Full.pdf).
- FEMA (2021). “Desarrollo de Resiliencia Comunitaria con Soluciones Basadas en la Naturaleza”.  
[https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema\\_riskmap-nature-based-solutions-guide\\_2021.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_riskmap-nature-based-solutions-guide_2021.pdf).
- Junta de Planificación (2023). “Reglamento para el Diseño, Criterios de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillados Pluviales en Puerto Rico”. <https://jp.pr.gov/wp->

[content/uploads/2023/05/JP-RP-40-Reglamento-de-Planificacion-Num.-40-Sello-Estado-1.pdf](#).

López, M. A. Lugo, J. Juárez y J. A. Bonnet (1968). “Tasa de infiltración relativa de los suelos de Puerto Rico”. Revista de Agricultura de la Universidad de Puerto Rico.  
<https://doi.org/10.46429/jaupr.v52i3.11510>.

Martinuzzi, Sebastián, William A. Gould y Olga M. Ramos González. (2007). “Desarrollo de tierra, uso de tierra y expansión urbana en Puerto Rico integrando detección remota y datos del censo poblacional”. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.02.014>.

Metro Puerto Rico (2021). “Llevarán e instalarán cisternas en comunidades de Canóvanas”.  
<https://www.metro.pr/pr/noticias/2021/11/01/llevaran-e-instalaran-cisternas-en-comunidades-de-canovanas.html>.

Agencia de Control de Contaminación de Minnesota (2024). “Especificaciones de construcción para biorretención - Manual de Aguas Pluviales de Minnesota”.  
[https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Construction\\_specifications\\_for\\_bioretention](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Construction_specifications_for_bioretention)

Agencia de Control de Contaminación de Minnesota (2024). “Criterios de diseño para pavimento permeable - Manual de Aguas Pluviales de Minnesota”.  
[https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Design\\_criteria\\_for\\_permeable\\_pavement](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Design_criteria_for_permeable_pavement).

Municipio Carolina (sin fecha). “Alcalde Aponte inspecciona proyectos de instalación de cisternas”.  
<https://www.municipiocarolina.com/alcalde-aponte-inspecciona-proyectos-de-instalacion-de-cisternas/>.

Universidad Estatal de Oklahoma (2017). “Orientación para Diseño de Celdas de Biorretención para Oklahoma”. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/print-publications/bae/bioretention-cell-design-guidance-for-oklahoma-bae-1536.pdf>.

Plenitud PR. (2023). “Seguridad del agua en Puerto Rico”. <https://www.plenitudpr.org/watersecurity>.

Preston, B.L, et. al. (2020). “Más allá de la recuperación: transformando el sector del agua en Puerto Rico como resultado de los huracanes Irma y María”. Centro de Análisis Operativo de Seguridad Nacional operado por la Corporación RAND.  
[https://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RR2608.html](https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2608.html).

Programa de Investigación del Cambio Climático de Estados Unidos (2023). “Quinta Evaluación Nacional del Clima del Caribe Estadounidense”.  
<https://nca2023.globalchange.gov/chapter/23/>.

Ridge to Reefs (2024). “Ayuda en huracanes y terremotos: desarrollo de resiliencia en Puerto Rico”.  
<https://www.ridgetoreefs.org/relief-for-puerto-rico>.

Programa de Evaluación de Tecnologías Sostenibles (2012). “Hoja informativa de planificación y diseño de bajo impacto - pavimento permeable”.

[https://wiki.sustainabletechnologies.ca/images/7/7e/Permeable\\_Pavement\\_Factsheet.pdf](https://wiki.sustainabletechnologies.ca/images/7/7e/Permeable_Pavement_Factsheet.pdf).

Manejo de Aguas Pluviales de Tennessee (sin fecha). “Manual de Manejo de Aguas Pluviales Permanentes y Orientación de Diseños de Tennessee - Capítulo 5.48 Pavimento permeable”.

<https://tnpermanentstormwater.org/manual/17%20Chapter%205.4.8%20Permeable%20Pavement.pdf#:~:text=In%20addition%2C%20permeable%20pavement%20should%20never%20be,infiltration%20rate%20of%200.5%20inches%20per%20hour>.

Terrasa-Soler, J.J. (2016). “Especies recomendadas para jardines de lluvia, drenajes vegetados y celdas de biorretención en Puerto Rico y las Islas del Caribe”.

[https://jterrasa.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/02/recommended-species-for-rain-gardens-bioswales-bioretenion-cells-in-puerto-rico-and-caribbean-islands\\_jose-j-terrasa-soler\\_2016.pdf](https://jterrasa.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/02/recommended-species-for-rain-gardens-bioswales-bioretenion-cells-in-puerto-rico-and-caribbean-islands_jose-j-terrasa-soler_2016.pdf).

Junta de Desarrollo de Agua de Texas (2005). “El Manual de Texas sobre Recolección de Aguas de Lluvia”.

[https://www.twdb.texas.gov/publications/brochures/conservation/doc/RainwaterHarvestingManual\\_3rdedition.pdf](https://www.twdb.texas.gov/publications/brochures/conservation/doc/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf).

Universidad de Puerto Rico. (2018). “Clasificación taxonómica de suelos en Puerto Rico, 2017”.

[https://www.uprm.edu/tamuk/wp-content/uploads/sites/299/2019/06/Taxonomic\\_classification\\_soils\\_PR\\_2018\\_reduced.pdf](https://www.uprm.edu/tamuk/wp-content/uploads/sites/299/2019/06/Taxonomic_classification_soils_PR_2018_reduced.pdf).

Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), Departamento de Comercio de Estados Unidos (2024). “Parámetros de Puerto Rico e Islas Vírgenes de Estados Unidos”. Servicio Meteorológico Nacional. Servicio Meteorológico Nacional del NOAA. [https://www.weather.gov/sju/climo\\_pr\\_usvi\\_normals](https://www.weather.gov/sju/climo_pr_usvi_normals).

## 6. Recursos

Instituto Delta, Environmental Consulting & Technology, Inc. (2021). *Una guía de diseño para las mejoras prácticas de manejo de infraestructura verde para aguas pluviales.*

<https://www.risc.solutions/wp-content/uploads/2021/08/Design-Guide-for-Green-Infrastructure-BMPs-RISC-Report-August-2021.pdf>.

DRNA, USFS, NRCS, USFWS & Envirosurvey, Inc. (2022). *Guía de Árboles Nativos para Prácticas de Conservación en Puerto Rico e Islas Vírgenes.* <https://guiadearboles.org/>.

Agencia de Protección Ambiental (2021). *Mejores prácticas de manejo para las zanjas de infiltración de aguas pluviales.* <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/bmp-infiltration-trench.pdf>.

FEMA (2021). *Desarrollando la resiliencia de las comunidades con soluciones basadas en la naturaleza: una guía para comunidades locales:*

[https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema\\_riskmap-nature-based-solutions-guide\\_2021.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_riskmap-nature-based-solutions-guide_2021.pdf).

FEMA (2023). *Desarrollando la resiliencia de las comunidades con soluciones basadas en la naturaleza: estrategias para el éxito:*

[https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema\\_nature-based-solutions-guide-2-strategies-success\\_2023.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_nature-based-solutions-guide-2-strategies-success_2023.pdf).

Consejo de Planificación del Área Metropolitana (2018). *Diseño de parques y parques recreativos como infraestructura verde para aguas pluviales y resiliencia climática.*

<https://www.mapc.org/wp-content/uploads/2018/07/FINAL.Designing-Parks-and-Playgrounds-as-Green-Infrastructure.Chelsea.6.29.18.pdf>.

Para La Naturaleza. (sin fecha). *Guía Digital de Árboles Nativos de Puerto Rico.*

<https://www.paralanaturaleza.org/para-la-naturaleza-presenta-nueva-guia-digital-de-arboles-nativos-de-puerto-rico/>.

Penkova, I.F.G., Zimmerman, J.K., González, G. (2020). *Techos verdes en los trópicos: consideraciones de diseño y dinámica de la vegetación.*

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04712>.

Universidad de Puerto Rico – Servicio de Extensión Agrícola (2018). *Manual de Forestación Urbana para Puerto Rico y las Islas Vírgenes Americanas.* <https://www.uprm.edu/sea/manual-de-forestacion-urbana-de-puerto-rico/>.