

HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS PARA IMPLEMENTAR



# Soluciones Basadas en la Naturaleza

DIRIGIDO A ACTORES POLÍTICOS Y TÉCNICOS  
DE GOBIERNOS MUNICIPALES DE CIUDADES  
INTERMEDIAS DE BOLIVIA



HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS PARA  
IMPLEMENTAR



# Soluciones Basadas en la Naturaleza

DIRIGIDO A ACTORES POLÍTICOS Y TÉCNICOS  
DE GOBIERNOS MUNICIPALES DE CIUDADES  
INTERMEDIAS DE BOLIVIA

# Créditos

Herramientas y Tecnologías para Implementar Soluciones Basadas en la Naturaleza.

Dirigido a Actores Políticos y Técnicos de Gobiernos Municipales de Ciudades Intermedias de Bolivia.

Esta publicación ha sido elaborada con la asistencia técnica y financiera del proyecto CoRe Urban de Helvetas Swiss Intercooperation Bolivia.

Esta publicación fue posible gracias al financiamiento de la Embajada de Suecia, a través del proyecto Basura Cero en Bolivia.

## Depósito Legal

4-1-6890-2025

## Autor

Dr. Sazcha Olivera Villarroel  
Consultor externo del proyecto CoRe Urban

## Edición

Verónica López  
Especialista en Gestión de Proyectos

## Supervisión

Beatriz Lizarazu  
Coordinadora del proyecto CoRe Urban

## Diagramación

Julio Cesar Cordero T.

Helvetas Swiss Intercooperation - Bolivia  
2025

# Índice

1. Descripción de Tecnologías	9
• Jardines Inundables como SbN	9
• Terrazas Verdes como SbN	15
• Sistemas Agroforestales como SbN	25
• Muros Verdes Vegetalizados como SbN	33
• Barreras Vivas como SbN	39
• Qanats o Pozos Indios como SbN	45
• Humedales Construidos como SbN	51
• Bofedales como SbN	57
• Techos Verdes como SbN	63
• Jardines Verticales Nativos como SbN	69
• Parques Multifuncionales como SbN	75
• Corredores Biológicos como SbN	81
• Huertos Comunitarios y Cultivos Verticales como una SbN	89
• Jardines Polinizadores como SbN	95
• Restauración de Quebradas como SbN	101
• Sistema de Drenaje Sostenible como SbN	107
2. Manual Técnico: Estrategia de Financiamiento por Bonos Verdes	113
3. Adaptación basada en Ecosistemas	121
• Reforestación y Regeneración Natural Asistida como AbE	125
• Fundamentos de la Restauración Natural Asistida	133
• Restauración de Suelos Degradados	141
• Restauración Hídrica y Manejo Integral de Cuencas	157
• Gestión del Paisaje y Conectividad Ecológica	163
• Control de Especies Invasoras	171
4. Monitoreo Comunitario y Ciencia Participativa	177
5. Fortalecimiento de Capacidades y Gobernanza Local	183
Referencias Bibliográficas	189

## 1. Descripción de Tecnologías



### Jardines Inundables como SbN

Los jardines inundables representan una innovadora y sostenible solución para la gestión del agua en entornos urbanos, ofreciendo una alternativa prometedora para aumentar la resiliencia frente a los desafíos del cambio climático. Integrados como parte de las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), estos jardines aprovechan procesos naturales para mitigar el riesgo de inundaciones y manejar las aguas pluviales de manera efectiva (Ribas Palom & Saurí Pujol, 2022).

A diferencia de las infraestructuras grises tradicionales, que a menudo tienen impactos negativos en el medio ambiente, los jardines inundables ofrecen múltiples beneficios, incluyendo la mejora de la calidad del agua, la creación de hábitats para la biodiversidad y el incremento en la calidad de vida de la comunidad (Ribeiro Mendes & Gonçalves Pina, 2023).

La implementación de jardines inundables requiere un enfoque multidisciplinario que considere factores climáticos, sociales y económicos, así como la participación de las comunidades locales (Rojas et al., 2023). Al integrar el diseño ecológico con la planificación urbana, los jardines inundables pueden convertirse en elementos clave para la construcción de ciudades más resilientes, sostenibles y habitables (Pimentel Cilento Porfirio et al., 2022).

A continuación, se detalla el proceso de diseño, implementación y gestión en cinco fases clave:

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- *Mapeo y análisis del terreno:* Utilizar datos geoespaciales para identificar puntos bajos, zonas de acumulación de agua y áreas con problemas recurrentes de inundación. Datos topográficos de alta resolución (DEM, LIDAR) para identificar puntos bajos y áreas de acumulación de agua.
- *Utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG):* para mapear las áreas propensas a inundaciones y superponerlas con datos de uso del suelo, infraestructuras y población.
- *Consulta comunitaria:* Recopilar información local sobre eventos pasados de inundación, frecuencia y zonas afectadas. Organizar talleres y entrevistas con residentes locales, líderes comunitarios y representantes de organizaciones no gubernamentales. Recopilar información sobre eventos pasados de inundación, incluyendo la frecuencia, la duración, la profundidad del agua y los impactos en la comunidad. Identificar las necesidades y las prioridades de la comunidad con relación a la gestión del agua y la mejora del entorno urbano.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- *Objetivos ambientales:* Establecer metas de cómo reducir la escorrentía, mejorar la calidad del agua y aumentar la biodiversidad.
- *Objetivos sociales:* Identificar beneficios para la comunidad, como áreas recreativas o educativas.

- *Establecer metas cuantitativas* para la reducción de la escorrentía, la mejora de la calidad del agua y el aumento de la biodiversidad.
- *Identificar los beneficios sociales que el jardín inundable puede proporcionar a la comunidad, como la creación de espacios verdes recreativos, la promoción de la educación ambiental y la mejora de la salud pública.*

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- *Clima:* Analizar patrones de precipitación y temperaturas para diseñar un sistema resiliente.
- *Factores sociales:* Asegurar el acceso equitativo y la participación comunitaria.
- *Viabilidad económica:* Estimar costos iniciales, mantenimiento y retorno de la inversión a través de servicios ecosistémicos.
- Analizar los patrones de precipitación y temperaturas a largo plazo para diseñar un sistema resiliente que pueda hacer frente a eventos climáticos extremos.
- Asegurar el acceso equitativo al jardín inundable para todos los miembros de la comunidad, considerando las necesidades de personas con discapacidad, niños y ancianos.
- Realizar un análisis de costo beneficio para evaluar la viabilidad económica del proyecto, considerando los costos iniciales, los costos de mantenimiento y los beneficios económicos derivados de la reducción de inundaciones, la mejora de la calidad del agua y el aumento del valor de las propiedades.

## 2. Diseño del Jardín Inundable

### a. Selección de especies nativas adaptadas a inundaciones periódicas

- Escoger plantas nativas que toleren variaciones en niveles de agua, como juncos, lirios acuáticos y sauces.
- Incorporar especies que favorezcan la filtración y la biodiversidad.

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Diseñar bioswales (canal poco profundo) con una pendiente suave y una vegetación densa para canalizar el agua de lluvia hacia las zonas de almacenamiento.
- Construir estanques o humedales artificiales con diferentes profundidades y niveles de vegetación para maximizar la retención y la filtración del agua.
- Incorporar capas de suelo poroso (arena, grava, compost) para aumentar la infiltración del agua en el suelo y reducir la escorrentía superficial.

### c. Integración en el paisaje urbano

- Diseñar el jardín inundable para que se integre armoniosamente con el entorno urbano, considerando el estilo arquitectónico de los edificios cercanos, la presencia de otros espacios verdes y las necesidades de la comunidad.
- Asegurar que el jardín sea accesible para todos los miembros de la comunidad, incluyendo personas con discapacidad, niños y ancianos.

- Incorporar elementos de diseño que hagan que el jardín sea estéticamente atractivo, como senderos, bancos, fuentes y esculturas.

## 3. Fases de Implementación

### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Retirar el material impermeable (asfalto, concreto) y el suelo compactado para facilitar la infiltración del agua.
- Excavar y modelar el terreno siguiendo el diseño del jardín inundable, creando las zonas de retención de agua (bioswales, estanques, humedales).
- Acondicionar el suelo con materia orgánica y nutrientes para favorecer el crecimiento de las plantas.

### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Instalar canaletas, sumideros y conectores para captar el agua de lluvia de las superficies impermeables (techos, calles, estacionamientos) y dirigirla hacia el jardín inundable.
- Asegurar una pendiente adecuada para garantizar el flujo del agua hacia las zonas de almacenamiento y evitar el estancamiento.
- Construir los estanques y humedales artificiales siguiendo el diseño, utilizando materiales impermeables (arcilla, geomembrana), si es necesario.

### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Plantar las especies seleccionadas siguiendo el diseño, comenzando con aquellas que tienen un sistema radicular fuerte y que estabilizan rápidamente el suelo (gramíneas, leguminosas).

- Implementar medidas de control de la erosión, como la colocación de mantas orgánicas, la construcción de muros de contención y la siembra de plantas rastreras.
- Regar las plantas regularmente durante las primeras semanas para asegurar su establecimiento y crecimiento.

#### 4. Gestión y Monitoreo

##### a. Mantenimiento periódico

- Programar actividades de mantenimiento regular, incluyendo la limpieza de sedimentos y residuos, la poda de plantas, el control de malezas y la reparación de infraestructuras.
- Reemplazar las plantas que no se adapten a las condiciones del jardín o que hayan sido dañadas por plagas, enfermedades o eventos climáticos extremos.
- Aplicar fertilizantes orgánicos para mantener la salud y el vigor de las plantas.

##### b. Monitoreo de calidad del agua y biodiversidad

- Realizar muestreos periódicos de la calidad del agua para medir los niveles de contaminantes (nitratos, fosfatos, metales pesados) y evaluar la efectividad del jardín en la filtración del agua.
- Registrar la presencia de flora y fauna en el jardín, identificando las especies indicadoras de biodiversidad saludable (polinizadores, aves, anfibios).
- Utilizar metodologías estandarizadas para el monitoreo de la calidad del agua y la biodiversidad, y capacitar a los miembros de la comunidad para participar en estas actividades.

##### c. Ajustes y mejoras basados en datos

- Analizar los datos recopilados durante el monitoreo para identificar áreas de mejora y realizar ajustes en el diseño o el manejo del jardín.
- Incorporar más especies nativas si se detecta baja biodiversidad, seleccionando aquellas que sean más atractivas para la fauna local.
- Modificar las áreas de drenaje si hay problemas de acumulación excesiva de agua, aumentando la pendiente o instalando sistemas de drenaje adicionales.
- Aplicar medidas correctivas para controlar plagas, enfermedades o problemas de erosión que puedan afectar la salud del jardín.

#### 5. Impactos y Beneficios Esperados

##### a. Reducción de inundaciones urbanas

- Los jardines inundables retienen y ralentizan la escorrentía pluvial, reduciendo el volumen de agua que llega al sistema de alcantarillado y disminuyendo el riesgo de inundaciones.
- Estos jardines actúan como esponjas naturales, absorbiendo el agua de lluvia y liberándola gradualmente al suelo o al sistema de drenaje.

##### b. Mejora de la calidad del agua mediante filtración natural

- Los jardines inundables filtran el agua de lluvia, eliminando contaminantes como sedimentos, nutrientes, metales pesados y productos químicos.
- Los procesos biológicos que ocurren en el suelo y la vegetación del jardín contribuyen a la descomposición de contaminantes orgánicos y a la reducción de la carga de nutrientes.

### c. Creación de hábitats para la biodiversidad local

- Los jardines inundables proporcionan hábitats para una variedad de especies de plantas, animales e insectos, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad urbana.
- Estos jardines atraen a polinizadores, aves y otros animales que benefician el ecosistema urbano y mejoran la calidad de vida de la comunidad.

### d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

- Los jardines inundables proveen espacios verdes recreativos donde los residentes pueden disfrutar de la naturaleza, relajarse y socializar.
- Estos jardines actúan como puntos educativos para la sensibilización ambiental, promoviendo la comprensión de los beneficios de la gestión sostenible del agua y la conservación de la biodiversidad.
- Los jardines inundables contribuyen a la mejora de la salud pública, reduciendo la contaminación del aire, disminuyendo el estrés y fomentando la actividad física.

Los jardines inundables, como parte de las Soluciones basadas en la Naturaleza, son estrategias efectivas para la gestión del riesgo de inundación y el manejo de aguas pluviales urbanas. Estas soluciones aprovechan procesos geomorfológicos e hidrológicos naturales para prevenir inundaciones y restaurar llanuras aluviales (Ribas Palom & Saurí Pujol, 2022).

Los jardines de lluvia y biovaletas son ejemplos de SbN que han demostrado eficiencia técnica, simplicidad operativa y mejora de la biodiversidad en entornos urbanos (Ribeiro Mendes & Gonçalves Pina, 2023). Estas soluciones son particularmente relevantes en regiones propensas a fenómenos como El Niño, donde pueden aumentar la resiliencia de las ciudades frente a inundaciones (Rojas et al., 2023). La implementación de SbN, como el almacenamiento

de lluvia y la restauración de vegetación nativa, puede resolver problemas de acumulación de agua de lluvia en áreas urbanas, proporcionando beneficios sociales y ambientales (Pimentel Cilento Porfírio et al., 2022).





Las terrazas verdes se presentan como una técnica sostenible e innovadora para transformar superficies impermeables en sistemas funcionales que optimizan la gestión del agua y mejoran la biodiversidad en entornos urbanos. Al replicar sistemas naturales de captación y filtración de agua, las terrazas verdes se adaptan a contextos urbanos, ofreciendo una solución clave para la construcción de ciudades más resilientes y sostenibles. Su diseño multifuncional aporta beneficios ambientales, sociales y económicos cuantificables, convirtiéndolas en una alternativa prometedora para enfrentar los desafíos del cambio climático y la urbanización (Getter & Rowe, 2006; Köhler, 2008). La implementación exitosa de terrazas verdes requiere un diagnóstico inicial exhaustivo, un diseño ecológico cuidadoso, una instalación técnica precisa y un monitoreo continuo para asegurar la estabilidad del ecosistema y maximizar sus beneficios a largo plazo.

Aquí se detalla el proceso en cinco fases principales:

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- Mapeo de áreas urbanas vulnerables: Identificar edificios y estructuras susceptibles a inundaciones, priorizando zonas de alta densidad urbana.
- Utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG) para mapear áreas urbanas propensas a inundaciones, considerando factores como la topografía, la densidad de población y la infraestructura existente.
- Identificar edificios y estructuras que son particularmente susceptibles a inundaciones, priorizando aquellos ubicados en zonas de alta densidad urbana.
- Evaluación de techos existentes: Verificar la capacidad estructural de techos y terrazas para soportar una cubierta verde.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Objetivos ambientales: Disminuir la escorrentía, reducir las islas de calor urbano y promover la biodiversidad.
- Objetivos sociales: Crear espacios verdes accesibles, fomentar el bienestar y sensibilizar sobre sostenibilidad.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Analizar datos climáticos locales, como la precipitación anual, la temperatura promedio y la dirección predominante del viento, para seleccionar especies de plantas que sean resistentes a la sequía y a las lluvias intensas.

- Evaluar la viabilidad técnica y económica del proyecto, considerando los costos iniciales de instalación, los costos de mantenimiento a largo plazo y los beneficios económicos derivados de la reducción de inundaciones, la mejora de la eficiencia energética y el aumento del valor inmobiliario.

## 2. Diseño del Jardín Inundable

### a. Selección de especies nativas adaptadas a inundaciones periódicas

- Escoger plantas resistentes a la sequía y a lluvias intensas, como gramíneas, sedums y arbustos nativos.
- Incluir especies polinizadoras para maximizar los beneficios ecológicos.
- Seleccionar especies nativas que sean resistentes a la sequía y a las lluvias intensas, y que requieran poco mantenimiento.
- Priorizar especies que atraigan a polinizadores, como abejas, mariposas y colibríes, para maximizar los beneficios ecológicos de la terraza verde.
- Considerar la altura, el color y la textura de las plantas para crear un diseño visualmente atractivo y diverso.

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Diseñar la terraza verde para que se integre visualmente con el paisaje urbano circundante, utilizando colores, texturas y formas que complementen la arquitectura de los edificios cercanos.
- Incorporar elementos de diseño que fomenten el uso comunitario del espacio, como senderos, bancos, mesas y áreas de recreación, si la estructura del edificio lo permite.

- Conectar la terraza verde con otras áreas verdes cercanas, como parques, jardines y corredores ecológicos, para crear un ecosistema urbano más diverso y resiliente.

#### c. Integración de las terrazas verdes en el paisaje urbano

- Incorporar acceso comunitario o zonas de recreación si la estructura lo permite.
- Diseñar la terraza como parte del ecosistema urbano, conectando visual y funcionalmente con otras áreas verdes cercanas.

### 3. Fases de Implementación

#### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Evaluación estructural: Garantizar que la edificación soporte el peso de la terraza verde.
- Impermeabilización: Instalar membranas para evitar filtraciones al edificio. Realizar una evaluación estructural exhaustiva del techo para garantizar que pueda soportar el peso adicional de la terraza verde, incluyendo el sustrato, la vegetación y el agua retenida.
- Instalar una membrana impermeable de alta calidad para proteger el techo del edificio contra filtraciones de agua.
- Asegurarse que la superficie del techo esté limpia, nivelada y libre de objetos punzantes que puedan dañar la membrana impermeable.

#### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Instalar sistemas de drenaje para canalizar el agua excedente hacia depósitos de almacenamiento o hacia el sistema de alcantarillado pluvial.

- Implementar sistemas de riego automáticos que sean alimentados por el agua de lluvia captada, reduciendo así el consumo de agua potable.
- Asegurarse que los sistemas de captación y almacenamiento de agua sean fáciles de mantener y limpiar.

#### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Distribuir el sustrato ligero y de alta capacidad de retención de agua sobre la membrana impermeable, asegurando una capa uniforme y con el grosor adecuado para las especies de plantas seleccionadas.
- Plantar las especies seleccionadas siguiendo un patrón que favorezca el crecimiento rápido y la estabilidad del ecosistema, como la plantación en grupos densos o la utilización de plantas rastreras para cubrir el suelo.
- Aplicar un mantillo orgánico para ayudar a retener la humedad, suprimir las malezas y proteger las raíces de las plantas.

### 4. Gestión y Monitoreo

#### a. Mantenimiento periódico

- Realizar inspecciones periódicas del sistema de drenaje para asegurar que no haya obstrucciones y que el agua fluya libremente.
- Verificar la integridad de la membrana impermeable para detectar posibles daños o filtraciones.
- Podar, fertilizar y sustituir las plantas según sea necesario para mantener la salud y la estética de la terraza verde.
- Controlar las malezas de forma manual o utilizando herbicidas orgánicos.

#### b. Monitoreo de la calidad del agua y la biodiversidad

- Evaluar la capacidad de la terraza verde para retener agua midiendo la cantidad de agua que se escurre después de una lluvia.
- Monitorear la calidad del agua que se escurre de la terraza verde para determinar la efectividad de la filtración de contaminantes.
- Registrar las especies de plantas y animales que colonizan la terraza verde para evaluar su contribución a la biodiversidad urbana.

#### c. Ajustes y mejoras basados en los datos recopilados

- Analizar los datos recopilados durante el monitoreo para identificar áreas de mejora y realizar ajustes en el diseño o el manejo de la terraza verde.
- Incrementar la diversidad de plantas si es necesario para atraer a una mayor variedad de polinizadores y aves.
- Mejorar los sistemas de riego y drenaje según las condiciones locales y los resultados del monitoreo.

### 5. Impactos y Beneficios Esperados

#### a. Reducción de inundaciones urbanas

- Retención de hasta el 80 % de la precipitación en eventos moderados, aliviando los sistemas de alcantarillado. Las terrazas verdes pueden retener hasta el 80 % de la precipitación en eventos moderados, reduciendo la cantidad de agua que llega al sistema de alcantarillado y disminuyendo el riesgo de inundaciones.

#### b. Mejora de la calidad del agua mediante filtración natural

- Reducción de contaminantes a través del filtrado por sustratos y plantas. Las terrazas verdes filtran el agua de lluvia, eliminando contaminantes como sedimentos, nutrientes, metales pesados y productos químicos.

#### c. Creación de hábitats para la biodiversidad local

- Atracción de especies nativas como polinizadores y aves urbanas. Las terrazas verdes proporcionan hábitats para una variedad de especies nativas, como polinizadores, aves urbanas y otros animales pequeños.

#### d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

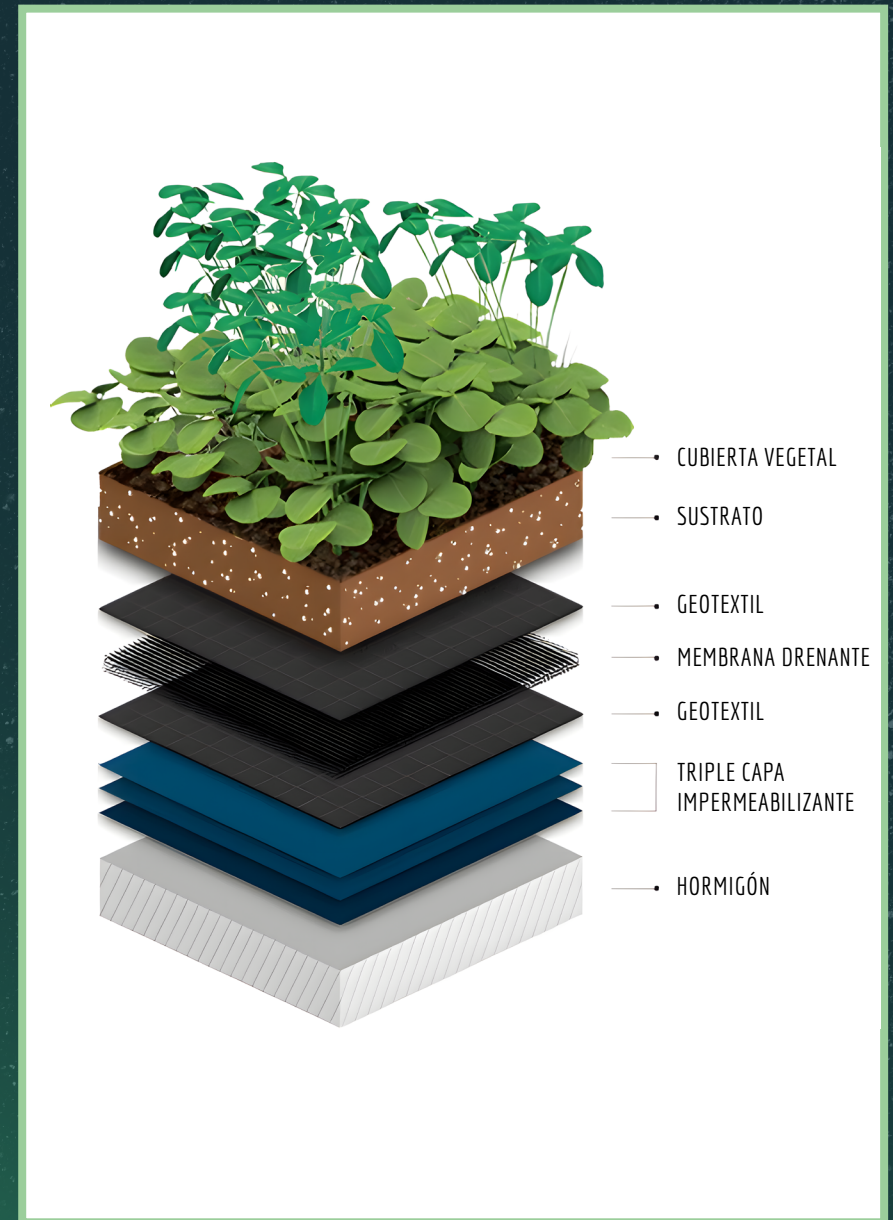
- Provisión de espacios verdes que mejoran el bienestar, reducen la contaminación sonora y aumentan el valor inmobiliario. Las terrazas verdes proveen espacios verdes que mejoran el bienestar, reducen la contaminación sonora y aumentan el valor inmobiliario.

### Replicación de Procesos Naturales y Sostenibilidad

Las terrazas verdes emulan sistemas naturales de captación y filtración de agua, adaptándose a contextos urbanos. Su diseño multifuncional aporta beneficios ambientales, sociales y económicos, convirtiéndolas en una solución clave para construir ciudades más resilientes y sostenibles.

El diseño incorpora especies nativas adaptadas a condiciones locales, sistemas de drenaje natural y almacenamiento de agua, integrándose al paisaje urbano existente. La implementación sigue una secuencia técnica precisa: evaluación estructural, impermeabilización, instalación de sistemas de drenaje y plantación estratégica para asegurar la estabilidad del ecosistema.

La gestión continua demanda monitoreo sistemático del sistema de drenaje, biodiversidad y calidad del agua, permitiendo ajustes basados en datos recopilados. Los beneficios incluyen retención de precipitación (hasta 80 %), mejora en calidad del agua, creación de hábitats urbanos y aumento del bienestar comunitario. Esta solución replica procesos naturales de filtración y captación hídrica, adaptándolos al contexto urbano, contribuyendo así a la construcción de ciudades resilientes mediante beneficios ambientales, sociales y económicos cuantificables.





Dentro del amplio espectro de las SbN, los sistemas agroforestales (SAF) se destacan como una práctica ancestral que ha ganado renovada atención por su potencial para mitigar los impactos ambientales y mejorar la resiliencia de los paisajes. Los sistemas agroforestales, definidos como sistemas dinámicos e integrados que combinan árboles, arbustos, cultivos agrícolas y/o animales en un mismo terreno (Nair et al., 2021), representan una alternativa viable a los sistemas agrícolas convencionales, caracterizados por la intensificación, la simplificación y la dependencia de insumos externos.

Al integrar componentes leñosos en los sistemas productivos, los SAF ofrecen una amplia gama de beneficios, que incluyen la mejora de la fertilidad del suelo, la captura de carbono atmosférico, la conservación de la biodiversidad, la regulación hídrica y la diversificación de los ingresos para los agricultores (José, 2009). Estos beneficios hacen de los SAF una SbN particularmente relevante para abordar desafíos específicos, como la degradación de tierras agrícolas, la escasez de agua y la vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos.

En el contexto de la planificación urbana y periurbana, los SAF también pueden desempeñar un papel crucial en la creación de paisajes más resilientes y sostenibles. La incorporación de árboles y vegetación en áreas urbanas puede contribuir a la mitigación del efecto isla de calor, la mejora de la calidad del aire, la reducción del escurrimiento superficial y la creación de espacios verdes que promuevan el bienestar humano (Nowak & Dwyer, 2007).

Al mismo tiempo, los SAF en zonas periurbanas, pueden servir como corredores ecológicos, conectar paisajes fragmentados y proporcionar servicios ecosistémicos a las ciudades.

En las siguientes secciones, se explora con mayor detalle el potencial de los SAF como SbN, centrándose en su capacidad para mejorar la gestión del agua, estabilizar el suelo y aumentar la resiliencia de los paisajes urbanos y periurbanos, al tiempo que se analizan los desafíos y oportunidades para su implementación a gran escala.

Los sistemas agroforestales, al combinar árboles, cultivos y/o ganado, son una herramienta efectiva para mejorar la gestión del agua, estabilizar el suelo y aumentar la resiliencia de los paisajes urbanos y periurbanos. Este enfoque combina beneficios ecológicos, sociales y económicos. A continuación, se detallan los pasos y fases necesarias:

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- Mapeo y evaluación de terrenos: Identificar zonas erosionadas, propensas a inundaciones o con problemas de escorrentía.
- Análisis del suelo: Determinar las características del terreno, como la textura, el contenido orgánico y la capacidad de infiltración de agua.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Comunidades locales: Identificar necesidades como

producción de alimentos, restauración del suelo o control de inundaciones.

- Objetivos ambientales: Reducir la degradación del suelo, mejorar la retención de agua y aumentar la biodiversidad.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Clima: Analizar precipitaciones, temperaturas y temporadas secas para planificar cultivos y especies arbóreas adecuadas.
- Aspectos sociales: Asegurar la participación comunitaria en el diseño y la implementación del sistema.
- Viabilidad económica: Estimar costos de implementación y beneficios económicos a mediano y largo plazo.

## 2. Diseño de los Sistemas Agroforestales

### a. Selección de especies nativas adaptadas a inundaciones periódicas

- Árboles: Incorporar especies que mejoren la estabilidad del suelo y sean resistentes a variaciones hídricas, como frutales o maderables nativos.
- Cultivos: Seleccionar plantas de cobertura que reduzcan la erosión y mejoren la fertilidad del suelo.
- Ganado: Si es aplicable, considerar razas adaptadas al clima local y manejar su impacto en el ecosistema.

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Establecer franjas de vegetación para ralentizar el flujo de agua y promover la infiltración.

- Incorporar zanjas de infiltración y sistemas de captación de agua para su almacenamiento y uso posterior.

### c. Integración de los sistemas agroforestales en el paisaje urbano o periurbano

- Diseñar corredores verdes que conecten áreas agroforestales con otros espacios naturales urbanos.
- Asegurar accesibilidad para actividades comunitarias como agricultura urbana o educación ambiental.

## 3. Fases de Implementación

### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Análisis topográfico: Determinar la mejor disposición para maximizar la captación de agua.
- Preparación del suelo: Incorporar materia orgánica, nivelar áreas y delimitar zonas de plantación.

### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Construir terrazas, zanjas o estanques según el diseño aprobado.
- Implementar sistemas de riego eficientes que utilicen agua de lluvia o fuentes locales.

### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Plantar árboles y cultivos siguiendo patrones diseñados para maximizar la interacción positiva entre especies.
- Aplicar medidas de control de erosión, como barreras vegetales o cobertura permanente del suelo.

## 4. Gestión y Monitoreo

### a. Mantenimiento periódico

- Podar árboles, gestionar cultivos y controlar la carga animal en caso de integrar ganado.
- Reponer vegetación en áreas afectadas por eventos climáticos o plagas.

### b. Monitoreo de la calidad del agua y la biodiversidad

- Registrar mejoras en la retención de agua, la fertilidad del suelo y la presencia de especies nativas.
- Evaluar la reducción de escorrentías y la estabilidad del terreno.

### c. Ajustes y mejoras basados en los datos recopilados

- Modificar el diseño o las especies según el rendimiento del sistema.
- Implementar nuevas prácticas agrícolas si se identifican problemas.

## 5. Impactos y Beneficios Esperados

### a. Reducción de inundaciones urbanas

- Retención de agua en el sistema agroforestal, reduciendo el flujo hacia áreas urbanas vulnerables.

### b. Mejora de la calidad del agua mediante filtración natural

- Eliminación de contaminantes al pasar por las raíces y el suelo de los sistemas agroforestales.

### c. Creación de hábitats para la biodiversidad local

- Aumento de la cobertura vegetal que proporciona refugio y alimento para especies locales.

### d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

- Provisión de alimentos, madera y otros recursos.
- Generación de empleo y espacios educativos sobre sostenibilidad.

Estos sistemas imitan las dinámicas de los bosques naturales al combinar árboles, cultivos y, en algunos casos, ganado para maximizar la resiliencia del paisaje. La interacción sinérgica entre componentes minimiza el impacto ambiental, mejora la gestión hídrica y promueve una sostenibilidad integral.





## Muros Verdes Vegetalizados como SbN

Los muros verdes, también conocidos como muros vegetalizados o fachadas verdes, representan una innovadora aplicación de las Soluciones basadas en la Naturaleza en el entorno urbano. Estos sistemas, que incorporan vegetación directamente en las superficies verticales de los edificios, ofrecen una amplia gama de beneficios ambientales, sociales y económicos, contribuyendo a la creación de ciudades más resilientes y sostenibles (Perini & Rosasco, 2013). A diferencia de las fachadas tradicionales, los muros verdes no solo embellecen el entorno construido, sino que también desempeñan un papel activo en la mejora de la calidad del aire, la regulación de la temperatura y la conservación de la biodiversidad urbana (Susca et al., 2011).

Desde una perspectiva ambiental, los muros verdes actúan como sumideros de carbono, capturando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros contaminantes atmosféricos, lo que contribuye a mitigar el cambio climático y mejorar la calidad del aire urbano (Getter & Rowe, 2006). Además, la vegetación en los muros verdes proporciona aislamiento térmico, reduciendo la necesidad de calefacción y refrigeración en los edificios y, por lo tanto, disminuyendo el consumo de energía. Esta capacidad de regulación térmica también contribuye a mitigar el efecto isla de calor urbano, un fenómeno que se caracteriza por

temperaturas más altas en las ciudades en comparación con las áreas rurales circundantes (Alexandri & Jones, 2008).

Además de sus beneficios ambientales, los muros verdes también pueden mejorar el bienestar humano al crear espacios más agradables y estéticamente atractivos. La presencia de vegetación en el entorno urbano se ha asociado con la reducción del estrés, la mejora de la salud mental y el aumento de la productividad (Ulrich, 1984). Asimismo, los muros verdes pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad urbana al proporcionar hábitats para aves, insectos y otros animales, lo que promueve la conectividad ecológica en paisajes fragmentados. Sin embargo, la implementación exitosa de muros verdes requiere una cuidadosa planificación y diseño, considerando factores como la selección de especies vegetales adecuadas, el sistema de riego y drenaje, y el mantenimiento a largo plazo (Köhler, 2008).

A continuación se describe en detalle cada fase del proceso:

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- Zonas prioritarias: Identificar áreas urbanas con problemas de erosión, inundaciones o escorrentía excesiva.
- Análisis estructural: Evaluar si las pendientes o las estructuras existentes son aptas para soportar un muro verde.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Objetivos funcionales: Control de erosión, mejora de la calidad del agua y regulación del microclima.
- Objetivos sociales: Embellecimiento urbano, aumento de espacios verdes y sensibilización comunitaria sobre sostenibilidad.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Clima: Analizar la frecuencia de lluvias, temperaturas y vientos para diseñar el sistema de vegetación y drenaje.
- Viabilidad económica: Comparar costos de instalación y mantenimiento con beneficios esperados, como ahorro en infraestructura hidráulica.

## 2. Diseño de Muros Verdes

### a. Selección de especies nativas adaptadas a inundaciones periódicas

- Escoger plantas con raíces fibrosas para estabilizar el suelo, resistentes a la sequía o a inundaciones periódicas según el clima local.
- Incluir especies que favorezcan la biodiversidad, como polinizadoras o plantas hospederas de fauna local.

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Diseñar capas internas para la captación y conducción de agua de lluvia.
- Incluir materiales de retención, como geotextiles o membranas porosas, que aseguren la estabilidad del muro y filtren el agua.

### c. Integración de muros verdes en el paisaje urbano o periurbano

- Diseñar el muro como parte de corredores ecológicos o parques urbanos.
- Incorporar acceso visual y funcional para que el espacio sea un elemento educativo o recreativo.

### 3. Fases de Implementación

#### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Estabilización de la base: Nivelar y reforzar el terreno con sistemas de retención inicial, como gaviones o cimentaciones adecuadas.
- Instalación de estructuras base: Incorporar módulos o paneles diseñados para soportar la vegetación.

#### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Implementar canales de drenaje que dirijan el agua de lluvia hacia depósitos o sistemas de reutilización.
- Integrar sistemas de riego automatizados para garantizar el suministro de agua en temporadas secas.

#### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Distribuir el sustrato adecuado para promover el crecimiento de las plantas seleccionadas.
- Realizar plantaciones escalonadas para asegurar el arraigo progresivo de la vegetación.

### 4. Gestión y Monitoreo

#### a. Mantenimiento periódico

- Revisar el sistema de riego, limpiar los canales de drenaje y reponer plantas dañadas.
- Podar y fertilizar la vegetación según las necesidades estacionales.

#### b. Monitoreo de la calidad del agua y la biodiversidad

- Analizar el agua drenada para evaluar su calidad y capacidad de filtración.
- Documentar especies que colonizan el muro, como aves, insectos y microorganismos.

#### c. Ajustes y mejoras basados en los datos recopilados

- Modificar el diseño del sistema de drenaje o sustituir especies menos adecuadas según los resultados del monitoreo.
- Implementar medidas adicionales, como barreras contra plagas o sistemas de retención de sedimentos, si es necesario.

### 5. Impactos y Beneficios Esperados

#### a. Reducción de inundaciones urbanas

- Captura y retención de agua de lluvia, disminuyendo la carga sobre los sistemas de alcantarillado.

#### b. Mejora de la calidad del agua mediante filtración natural

- Eliminación de sedimentos y contaminantes gracias a las raíces y al sustrato del muro.

#### c. Creación de hábitats para la biodiversidad local

- Provisión de espacios verdes que sirvan de refugio y alimento para polinizadores, aves y otras especies urbanas.

#### d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

- Mejora estética de espacios urbanos y reducción de islas de calor.

- Sensibilización comunitaria mediante la interacción con un ejemplo visible de sostenibilidad.

Estos sistemas replican dinámicas naturales al combinar plantas y estructuras, logrando una simbiosis que mejora la gestión del agua, estabiliza el suelo y contribuye al bienestar social. Su diseño adaptable y multifuncional los convierte en una herramienta esencial para construir ciudades más resilientes y sostenibles.



Las barreras vivas, definidas como hileras densas de árboles, arbustos o pastos perennes plantadas a lo largo de contornos o límites de campos, representan una práctica agroecológica y una Solución basada en la Naturaleza con múltiples beneficios ambientales y productivos (Kumar & Nair, 2011). A diferencia de las barreras físicas convencionales, las barreras vivas aprovechan los servicios ecosistémicos proporcionados por la vegetación para abordar desafíos específicos, como la erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad y la degradación de la calidad del agua (FAO, 2011). Su implementación estratégica puede mejorar la resiliencia de los paisajes agrícolas y contribuir a la sostenibilidad de los sistemas productivos.

Uno de los principales beneficios de las barreras vivas es su capacidad para reducir la erosión del suelo causada por el viento y el agua. Al actuar como cortavientos, las barreras vivas disminuyen la velocidad del viento a nivel del suelo, reduciendo la capacidad de éste para transportar partículas de suelo (Brandle et al., 2004). Asimismo, las raíces de las plantas en las barreras vivas ayudan a estabilizar el suelo, previniendo la erosión hídrica y la pérdida de nutrientes. Esta reducción de la erosión no solo protege la fertilidad del suelo, sino que también disminuye la sedimentación en cuerpos

de agua cercanos, mejorando la calidad del agua y protegiendo los ecosistemas acuáticos.

Además de controlar la erosión, las barreras vivas pueden mejorar la biodiversidad en los paisajes agrícolas al proporcionar hábitats para aves, insectos y otros animales (Hilty & Merenlender, 2004).

Las barreras vivas pueden servir como corredores ecológicos, conectando parches de hábitat fragmentados y facilitando el movimiento de especies entre ellos. Asimismo, las barreras vivas pueden actuar como filtros biológicos, removiendo contaminantes del agua y del suelo, como pesticidas y fertilizantes, lo que contribuye a la protección de la salud humana y ambiental. La selección adecuada de especies vegetales nativas y adaptadas al clima local es crucial para maximizar los beneficios de las barreras vivas y asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- Evaluación del terreno: Identificar zonas vulnerables a la erosión, inundaciones o escorrentías intensas.
- Mapeo hidrológico: Estudiar el flujo de agua y los patrones de escorrentía para determinar las ubicaciones óptimas de las barreras vivas.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Necesidades locales: Consultar con las comunidades o vecinos sobre los problemas actuales, como inundaciones o pérdida de suelo.
- Objetivos ambientales: Establecer metas claras, como mejorar la infiltración de agua, estabilizar taludes o crear hábitats biodiversos.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Clima: Analizar precipitaciones, temperaturas y estacionalidad para seleccionar las especies vegetales adecuadas.
- Viabilidad social: Promover la participación comunitaria o vecinal en la planificación y mantenimiento.
- Costos: Evaluar los recursos necesarios frente a los beneficios ecológicos y sociales esperados.

## 2. Diseño de Barreras Vivas

### a. Selección de especies nativas adaptadas a inundaciones periódicas

- Plantas resistentes: Elegir especies autóctonas con raíces profundas que estabilicen el suelo y soporten inundaciones intermitentes.
- Biodiversidad funcional: Combinar plantas de diferentes alturas y estructuras para maximizar la filtración de agua y la captura de sedimentos.

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Diseñar patrones de plantación que controlen el flujo de agua, creando áreas de retención y puntos de infiltración.
- Incorporar elementos como zanjas o depresiones entre las barreras para facilitar la captación y filtración.

### c. Integración en el paisaje urbano

- Conectar las barreras con otros espacios verdes para formar corredores ecológicos.

- Diseñar las barreras de forma funcional y estética, integrándolas en parques, avenidas o áreas periurbanas.

### 3. Fases de Implementación

#### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Limpieza y nivelación: Retirar escombros y nivelar el terreno según las necesidades del diseño.
- Marcación: Delimitar las áreas para la plantación con base en el diseño aprobado.

#### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Construir zanjas de infiltración o pequeños diques naturales para optimizar el flujo y retención de agua en el área.

#### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Distribución estratégica: Plantar las especies seleccionadas en patrones diseñados para frenar la escorrentía y reducir la erosión.
- Cobertura del suelo: Utilizar plantas de rápido crecimiento para cubrir el terreno y minimizar la exposición del suelo desnudo.

### 4. Gestión y Monitoreo

#### a. Mantenimiento periódico

- Regar y fertilizar las plantas en las etapas iniciales para garantizar su establecimiento.
- Podar y replantar especies que no sobrevivan a eventos climáticos extremos.

#### b. Monitoreo de la calidad del agua y la biodiversidad

- Analizar la reducción de sedimentos en el agua que fluye a través de las barreras.
- Documentar la biodiversidad que se establece en el área, incluyendo flora y fauna asociada.

#### c. Ajustes y mejoras basados en datos recopilados

- Incorporar nuevas especies o ajustar los patrones de plantación si los resultados no cumplen las expectativas iniciales.
- Mejorar las estructuras asociadas, como zanjas o áreas de captación, según las necesidades emergentes.

### 5. Impactos y Beneficios Esperados

#### a. Reducción de inundaciones urbanas

- Las barreras ralentizan y redirigen el flujo de agua, disminuyendo el impacto de las lluvias intensas en áreas vulnerables.

#### b. Mejora de la calidad del agua mediante filtración natural

- Las raíces y el suelo actúan como filtros naturales, eliminando sedimentos y contaminantes del agua que pasan a través de las barreras.

#### c. Creación de hábitats para la biodiversidad local

- Las barreras vivas ofrecen refugio, alimento y áreas de reproducción para especies locales de flora y fauna.

#### d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

- Provisión de áreas verdes funcionales y estéticamente agradables.

- Sensibilización ambiental y participación comunitaria en la conservación.

Estas estructuras imitan procesos naturales al ralentizar y filtrar el flujo de agua, estabilizar el suelo y aumentar la biodiversidad. Son soluciones sostenibles, de bajo costo y alta adaptabilidad que benefician tanto al medio ambiente como a las comunidades locales.



Los Qanat, también conocidos como Kariz o Pozos Indios, representan un antiguo sistema de gestión del agua que se considera una Solución basada en la Naturaleza debido a su sostenibilidad y capacidad para adaptarse a entornos áridos y semiáridos (Lightfoot, 1996). Originarios de Persia (actual Irán) hace más de 3000 años, estos sistemas subterráneos de captación y conducción de agua han sido utilizados en diversas regiones del mundo, incluyendo Oriente Medio, el norte de África, y América Latina, demostrando su versatilidad y eficacia (Mays, 2010). A diferencia de las infraestructuras hidráulicas modernas que a menudo dependen de energía y materiales intensivos, los Qanat aprovechan la gravedad y la geología local para proporcionar un suministro de agua confiable y sostenible.

La principal función de un Qanat es interceptar las aguas subterráneas en las laderas de las montañas o zonas de recarga y transportarlas a través de túneles ligeramente inclinados hasta los asentamientos humanos o áreas agrícolas ubicadas en las llanuras (Wulff, 1968). Estos túneles, excavados a mano, minimizan la evaporación y la contaminación del agua, protegiéndola de las inclemencias del tiempo y de la intervención humana. El sistema incluye pozos verticales espaciados regularmente a lo largo del túnel,

que facilitan la construcción, el mantenimiento y la ventilación del Qanat. La salida de agua del Qanat, conocida como “mazhar” se utiliza para riego, consumo doméstico y otros fines.

Como SbN, los Qanat ofrecen múltiples beneficios. Proporcionan un suministro de agua constante y predecible, incluso durante periodos de sequía, lo que aumenta la resiliencia de las comunidades locales ante la escasez de agua (Bonine, 1989). Además, su construcción y mantenimiento requieren un conocimiento profundo de la geología local y de las prácticas tradicionales de gestión del agua, lo que fomenta la participación comunitaria y el fortalecimiento de la identidad cultural. Sin embargo, la sostenibilidad de los Qanat se ve amenazada por factores como la sobreexplotación de los acuíferos, el cambio climático y la falta de inversión en su mantenimiento. La revitalización y adaptación de estos sistemas ancestrales pueden contribuir a una gestión más sostenible del agua en el futuro.

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- Estudio del terreno: Analizar regiones con acuíferos subterráneos, identificando las pendientes naturales para facilitar el flujo de agua.
- Vulnerabilidad hídrica: Priorizar áreas con escasez de agua superficial o con problemas de salinización.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Abastecimiento de agua: Determinar el uso principal del agua captada (riego, consumo humano o restauración ecológica).
- Conservación ambiental: Evaluar cómo los Qanat pueden apoyar ecosistemas adyacentes mediante la recarga de acuíferos o la irrigación de áreas verdes.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Clima y geología: Analizar características del suelo, precipitaciones y patrones de recarga de acuíferos.
- Participación comunitaria: Involucrar a la población local en el diseño y gestión del sistema.
- Viabilidad económica: Comparar costos iniciales y beneficios de largo plazo frente a alternativas modernas.

## 2. Diseño de Qanats o Pozos Indios

### a. Selección de especies nativas para la zona de descarga

- Incorporar vegetación autóctona en las áreas donde el agua emergerá a la superficie, creando microhábitats que estabilicen el suelo y fomenten la biodiversidad.

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Túneles y pozos de acceso: Diseñar túneles con una inclinación mínima (13 %) que conecten un acuífero subterráneo con una salida superficial.
- Sistemas de almacenamiento: Incorporar aljibes o cisternas para almacenar agua en la zona de descarga.

### c. Integración de los Qanat en el paisaje urbano o periurbano

- Aprovechar áreas verdes o espacios periurbanos para distribuir el agua de los Qanat, apoyando parques o cultivos urbanos.
- Diseñar entradas y salidas visibles para concienciar a la comunidad sobre su importancia histórica y funcional.

### 3. Fases de Implementación

#### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Estudios geotécnicos: Analizar el terreno para ubicar la profundidad y calidad del acuífero.
- Excavación de pozos y túneles: Construir pozos verticales a intervalos regulares para ventilación y mantenimiento, conectados por túneles horizontales.

#### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Forrar los túneles con materiales resistentes a la erosión para evitar colapsos y sedimentación.
- Construir depósitos o canales para distribuir el agua hacia zonas de uso o infiltración.

#### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- En las áreas de descarga, plantar especies resistentes a condiciones húmedas y crear un microclima que estabilice el suelo y minimice la evaporación.

### 4. Gestión y Monitoreo

#### a. Mantenimiento periódico

- Inspeccionar regularmente los túneles para detectar obstrucciones o daños estructurales.
- Limpiar los sedimentos acumulados en los pozos y garantizar la ventilación adecuada.

#### b. Monitoreo de la calidad del agua y la biodiversidad

- Analizar muestras de agua para asegurar su calidad y detectar posibles contaminaciones.

- Documentar cambios en la biodiversidad de las áreas irrigadas.

#### c. Ajustes y mejoras basados en los datos recopilados

- Reforzar estructuras débiles o incorporar nuevos tramos si cambia el flujo del agua subterránea.
- Ampliar la cobertura vegetal en las áreas de descarga para maximizar los beneficios ecológicos.

### 5. Impactos y Beneficios Esperados

#### a. Reducción de inundaciones urbanas

- Los Qanat pueden regular el nivel freático y capturar agua de lluvia, reduciendo la presión sobre sistemas de drenaje convencionales.

#### b. Mejora de la calidad del agua mediante filtración natural

- Los túneles y el suelo actúan como filtros naturales, eliminando sedimentos y contaminantes antes de que el agua llegue a la superficie.

#### c. Creación de hábitats para la biodiversidad local

- La vegetación asociada a los Qanat fomenta la creación de microhábitats, beneficiando tanto a la fauna como a la flora.

#### d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

- Proveer agua de forma sostenible y revalorizar una tecnología ancestral promueve la autosuficiencia hídrica y cultural.

Estos sistemas imitan los flujos naturales de agua subterránea, mejorando la gestión hídrica mediante soluciones pasivas y de bajo impacto. Además, al combinar tecnología tradicional con conocimientos modernos, los Qanat refuerzan el vínculo entre sostenibilidad, cultura y resiliencia urbana.



### Humedales Construidos como SbN

Los humedales construidos (HC) representan una estrategia clave dentro de las Soluciones basadas en la Naturaleza para abordar desafíos relacionados con la gestión del agua y la biodiversidad. Considerados como sistemas de tratamiento de agua artificiales, los HC imitan las funciones ecológicas de los humedales naturales para mejorar la calidad del agua, reducir la contaminación y crear hábitats valiosos (Kadlec & Wallace, 2009). Su creciente popularidad se debe a su capacidad para ofrecer una alternativa sostenible y rentable a los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales, especialmente en regiones donde la infraestructura centralizada es limitada o costosa (Vymazal, 2010).

La efectividad de los HC radica en la interacción compleja de procesos físicos, químicos y biológicos. La vegetación acuática juega un papel fundamental en la filtración de contaminantes, la absorción de nutrientes y la creación de microambientes favorables para la actividad microbiana (Brix, 1997). Los microorganismos, a su vez, descomponen la materia orgánica y transforman los contaminantes en formas menos dañinas. Además, los HC ofrecen beneficios adicionales como la recarga de acuíferos, el control de inundaciones, la mitigación del cambio climático mediante el secuestro de carbono y la mejora del paisaje (IUCN, 2016).

En el contexto de las SbN, los HC se destacan por su enfoque holístico y adaptativo. A diferencia de las soluciones de ingeniería tradicionales, los HC consideran la interdependencia entre los sistemas naturales y sociales, buscando maximizar los beneficios ambientales, económicos y sociales (Cohen-Shacham et al., 2016). Su diseño y gestión deben basarse en principios ecológicos sólidos y en la participación de las comunidades locales para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

La versatilidad de los HC permite su adaptación a diversas escalas y contextos, desde pequeños sistemas domésticos hasta grandes instalaciones municipales, lo que los convierte en una herramienta valiosa para la gestión integrada de los recursos hídricos y la promoción de la resiliencia urbana (UNEP, 2021).

### 1. Evaluación y Planificación

- **Análisis del agua residual:** Determinar el volumen y las características del agua residual a tratar (DBO, DQO, TSS, nutrientes, patógenos).
- **Objetivos de tratamiento:** Definir los niveles de calidad del agua deseados después del tratamiento.
- **Selección del sitio:** Elegir un lugar con espacio suficiente, pendiente adecuada (generalmente baja), suelo impermeable o con capacidad de ser impermeabilizado, acceso al agua residual y a un punto de descarga para el agua tratada. Considerar la proximidad a viviendas y fuentes de agua potable.
- **Diseño conceptual:** Seleccionar el tipo de humedal (superficial, subsuperficial horizontal o vertical), calcular el área requerida basándose en la carga contaminante y las tasas de remoción esperadas (utilizando ecuaciones de diseño empíricas o modelos), definir la configuración del humedal (forma, profundidad, longitud/ancho), y seleccionar los materiales de construcción y las especies vegetales. La profundidad del lecho suele estar entre 0.6 y 1 metro.

- **Permisos y regulaciones:** Obtener los permisos necesarios de las autoridades ambientales locales.

### 2. Preparación del Sitio y Excavación

- **Limpieza del sitio:** Eliminar vegetación, rocas y otros obstáculos del área.
- **Excavación:** Excavar el área de acuerdo con las dimensiones y la profundidad del diseño. Crear una pendiente suave para el flujo del agua.
- **Compactación del suelo:** Compactar el suelo excavado para asegurar la estabilidad de la estructura.

### 3. Impermeabilización

- **Selección del material de impermeabilización:** Utilizar una geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) o arcilla compactada (bentonita) para evitar la filtración del agua residual al suelo.
- **Instalación de la geomembrana:** Extender la geomembrana sobre toda la superficie excavada, asegurando que no haya arrugas ni pliegues. Sellar las uniones con calor o adhesivo según las especificaciones del fabricante. En el caso de arcilla, compactarla en capas hasta alcanzar el espesor deseado.
- **Protección de la geomembrana:** Cubrir la geomembrana con una capa de arena o grava fina para protegerla de daños durante la instalación de los medios filtrantes.

### 4. Instalación de la Red de Tuberías

- **Tubería de entrada:** Instalar una tubería perforada en la entrada del humedal para distribuir el agua residual uniformemente.

- Tubería de salida: Instalar una tubería perforada en la salida del humedal para recolectar el agua tratada. Colocar un pozo de inspección con una válvula para controlar el nivel del agua dentro del humedal.
- Material de la tubería: Utilizar tubería de PVC o polietileno de alta densidad (HDPE) resistente a la corrosión.

## 5. Colocación de los Medios Filtrantes

- Capa inferior: Colocar una capa de grava gruesa (510 cm de diámetro) en el fondo del humedal para proporcionar drenaje y soporte para las raíces de las plantas.
- Capa intermedia: Colocar una capa de grava fina (12 cm de diámetro) sobre la capa gruesa para mejorar la filtración.
- Capa superior: Colocar una capa de arena (0.22 mm de diámetro) sobre la capa de grava fina para una mayor filtración y soporte para las plantas. Esta capa puede omitirse en algunos diseños.

## 6. Plantación

- Selección de las plantas: Seleccionar especies de plantas acuáticas nativas adaptadas a las condiciones locales y con alta capacidad de absorción de nutrientes.
- Plantación: Plantar las plantas en la capa superior de arena o grava, asegurando una densidad adecuada (generalmente entre 4 y 8 plantas por metro cuadrado).
- Riego inicial: Regar las plantas regularmente durante las primeras semanas para asegurar su establecimiento.

## 7. Puesta en Marcha y Monitoreo

- Llenado gradual: Llenar el humedal gradualmente con agua residual para permitir que las plantas se adapten.

- Monitoreo: Monitorear la calidad del agua a la entrada y salida del humedal regularmente para evaluar su rendimiento y realizar ajustes si es necesario. Monitorear también la salud de las plantas y la presencia de plagas o enfermedades.
- Mantenimiento: Realizar un mantenimiento regular, incluyendo la eliminación de malezas, la poda de plantas muertas y la limpieza de las tuberías. Cada varios años puede ser necesario retirar y reemplazar parte de los medios filtrantes para mantener la eficiencia del sistema.

Estas soluciones replican los procesos de los humedales naturales, como la retención, filtración y regulación del agua. Su diseño adaptativo y multifuncional los convierte en herramientas clave para mitigar el impacto del cambio climático, mejorar la calidad del agua y promover la sostenibilidad en áreas urbanas y periurbanas.

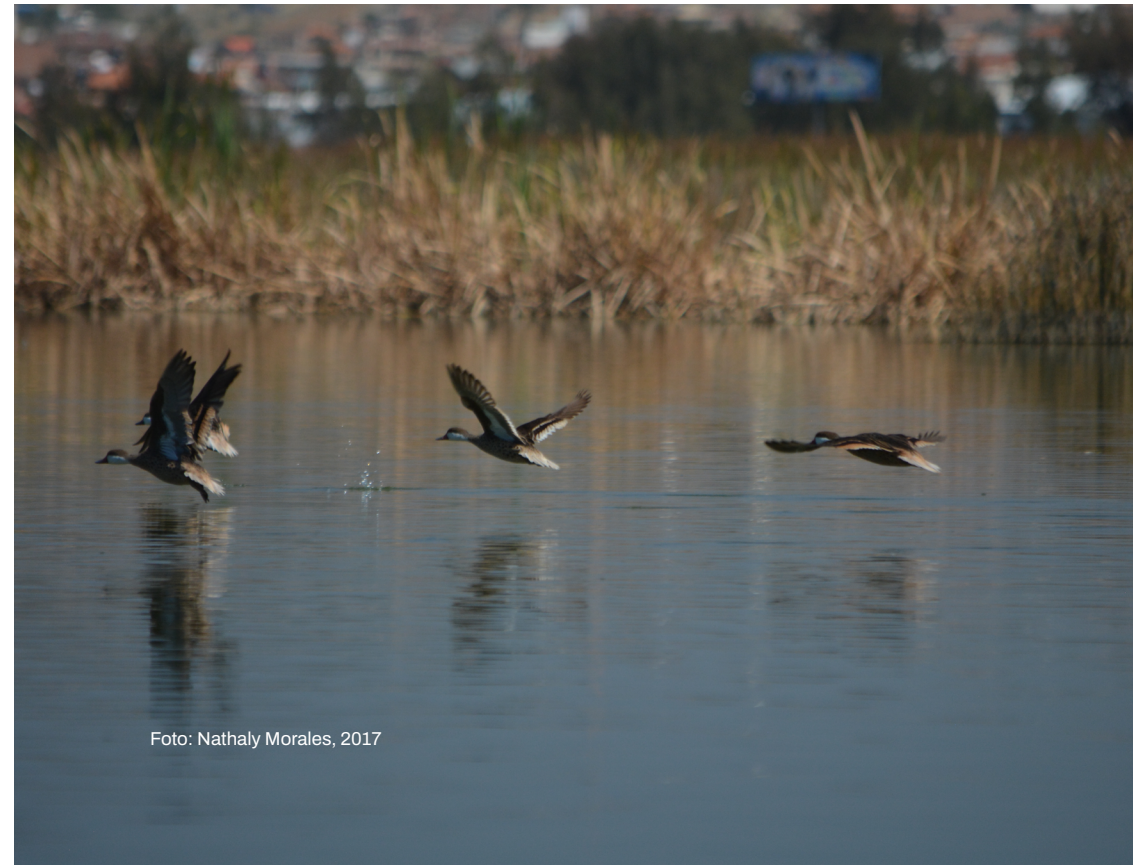


Foto: Nathaly Morales, 2017



Los bofedales son ecosistemas de humedales de alta montaña característicos de los Andes y otras regiones elevadas, emergen como Soluciones basadas en la Naturaleza cruciales para la gestión sostenible del agua, la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático (Hribljan et al., 2017). Estos ecosistemas, definidos por su alta capacidad de retención de agua y su vegetación especializada, actúan como esponjas naturales, regulando los flujos hídricos y asegurando el suministro de agua dulce en zonas áridas y semiáridas (Buytaert et al., 2006). Su importancia se acrecienta en un contexto de cambio climático, donde la disponibilidad de agua se vuelve cada vez más incierta y la gestión de los recursos hídricos se convierte en una prioridad global (IPCC, 2021).

La funcionalidad de los bofedales como SbN radica en su intrincada red de interacciones ecológicas. La vegetación densa, compuesta principalmente por plantas almohadilladas y gramíneas, reduce la erosión del suelo y facilita la infiltración del agua. La materia orgánica acumulada en el suelo actúa como un reservorio de agua, liberándola gradualmente durante los períodos secos (Proctor, 2003). Además, los bofedales albergan una rica biodiversidad, incluyendo especies endémicas y amenazadas, que dependen de estos ecosistemas para su supervivencia (Hofstede, 2003).

En el contexto de las SbN, los bofedales ofrecen una alternativa sostenible y rentable a las infraestructuras grises para la gestión del agua. Su restauración y conservación pueden mejorar la seguridad hídrica, reducir el riesgo de inundaciones y sequías, y promover el desarrollo socioeconómico de las comunidades locales (WWAP, 2018). Sin embargo, la implementación exitosa de los bofedales como SbN requiere un enfoque integrado que considere las dimensiones ecológicas, sociales y económicas.

Es fundamental involucrar a las comunidades locales en la gestión de estos ecosistemas y garantizar que los beneficios se distribuyan equitativamente. La investigación científica y el monitoreo continuo son esenciales para comprender mejor el funcionamiento de los bofedales y evaluar la efectividad de las intervenciones de restauración (MEA, 2005).

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- Ubicación estratégica: Seleccionar zonas de alta montaña o altiplanos urbanos con problemas de desabastecimiento hídrico, escorrentías excesivas o degradación de suelos.
- Evaluación hídrica: Analizar la disponibilidad de agua superficial o subterránea y su temporalidad.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Determinar si el enfoque será para el almacenamiento de carbono, la regulación hídrica, la conservación de biodiversidad o la combinación de estos objetivos.
- Integrar las necesidades de comunidades locales, especialmente de poblaciones rurales o periurbanas dependientes de los recursos hídricos.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Climáticos: Analizar la variabilidad climática y los patrones de precipitaciones en zonas altoandinas.
- Sociales: Involucrar a comunidades locales en el diseño y manejo del bofedal.
- Económicos: Evaluar la viabilidad financiera para construcción y mantenimiento.

## 2. Diseño de Bofedales

### a. Selección de especies nativas adaptadas a inundaciones periódicas

- Utilizar plantas como *Distichia muscoides* y *Oxychloe andina* (presentes en bofedales de buena calidad), que forman colchones húmedos y permiten la retención hídrica.
- Fomentar la presencia de especies que faciliten el secuestro de carbono y proporcionen hábitat para fauna local.

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Drenaje natural: Diseñar canales y microcuencas que distribuyan y regulen el flujo del agua hacia el bofedal.
- Almacenamiento: Incorporar zonas de captación de agua para mantener la humedad durante las estaciones secas.

### c. Integración de muros verdes en el paisaje urbano o periurbano

- Ubicar los bofedales en áreas de conexión ecológica, como corredores biológicos.

- Crear espacios que sirvan para la educación ambiental y el ecoturismo, aprovechando su valor paisajístico.

### 3. Fases de Implementación

#### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Nivelación del suelo: Crear superficies que permitan el flujo y la retención del agua.
- Construcción de canales: Instalar estructuras que faciliten el ingreso y distribución homogénea del agua.

#### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Conectar el bofedal con fuentes naturales como riachuelos, lagunas o aguas pluviales.
- Instalar sistemas para evitar la pérdida de agua, como barreras naturales o membranas subterráneas.

#### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Introducir vegetación en etapas, priorizando especies pioneras que establezcan el suelo y generen condiciones para otras plantas.
- Reforzar áreas vulnerables con estructuras biodegradables, como mallas de coco o esteras vegetales.

### 4. Gestión y Monitoreo

#### a. Mantenimiento periódico

- Retirar sedimentos o restos de vegetación que obstruyan el flujo de agua.
- Reparar canales o áreas erosionadas para evitar pérdida de funcionalidad.

#### b. Monitoreo de la calidad del agua y la biodiversidad

- Evaluar la calidad del agua en términos de nutrientes, pH y contenido de sedimentos.
- Documentar la presencia de especies clave como indicadores de salud del ecosistema.

#### c. Ajustes y mejoras basados en los datos recopilados

- Reconfigurar el sistema de drenaje si se detectan áreas con inundaciones excesivas o sequedad persistente.
- Introducir nuevas especies vegetales si la biodiversidad local no responde como se esperaba.

### 5. Impactos y Beneficios Esperados

#### a. Regulación de flujos hídricos

- Los bofedales retienen agua durante épocas lluviosas y la liberan gradualmente en períodos secos, reduciendo inundaciones y garantizando disponibilidad hídrica.

#### b. Almacenamiento de carbono

- Los suelos húmedos de los bofedales acumulan carbono de forma eficiente, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

#### c. Creación de hábitats para la biodiversidad local

- Proporcionan refugio para especies altoandinas como aves, anfibios e insectos, reforzando la conectividad ecológica.

#### d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

- Mejoran la calidad del agua, fomentan actividades económicas sostenibles y embellecen el entorno, fortaleciendo la resiliencia de las comunidades.

Los bofedales imitan y amplifican los servicios ecosistémicos de los humedales naturales. Su diseño adaptativo los convierte en herramientas fundamentales para mitigar los efectos del cambio climático, garantizar la seguridad hídrica y promover el desarrollo sostenible en entornos urbanos y rurales.



Los techos verdes, también conocidos como cubiertas vegetales o azoteas ajardinadas, representan una aplicación paradigmática de las Soluciones basadas en la Naturaleza en el entorno urbano (Getter & Rowe, 2006). Estos sistemas, que consisten en la cobertura de edificios con vegetación y un medio de cultivo, ofrecen una variedad de beneficios ambientales, económicos y sociales, convirtiéndose en una herramienta valiosa para abordar los desafíos de la urbanización y el cambio climático (Berardi et al., 2014). Su capacidad para replicar procesos naturales en entornos construidos los posiciona como una estrategia clave para promover ciudades más resilientes y sostenibles (Speak et al., 2014).

La principal contribución de los techos verdes como SbN radica en su capacidad para gestionar el agua de lluvia. La vegetación y el sustrato actúan como una esponja, reteniendo parte del agua que cae sobre el techo y reduciendo la escorrentía superficial. Esto disminuye la presión sobre los sistemas de drenaje urbano, minimizando el riesgo de inundaciones y mejorando la calidad del agua al filtrar contaminantes (Mentens et al., 2003). Además, los techos verdes contribuyen a la mitigación del efecto isla de calor urbano, reduciendo la temperatura ambiente y mejorando el confort térmico en los edificios (Susca et al., 2011).

Más allá de la gestión del agua y la regulación de la temperatura, los techos verdes ofrecen otros beneficios significativos. Aumentan la biodiversidad en entornos urbanos, proporcionando hábitat para aves, insectos y otros animales (Brenneisen, 2006). Mejoran la calidad del aire al absorber contaminantes atmosféricos y liberar oxígeno. Reducen el ruido ambiental y mejoran la estética urbana, creando espacios verdes agradables para los residentes.

En el ámbito económico, los techos verdes pueden reducir los costos de energía al mejorar el aislamiento de los edificios y prolongar la vida útil de los techos al protegerlos de la radiación solar y las fluctuaciones de temperatura (Wong et al., 2003). La implementación exitosa de los techos verdes como SbN requiere una planificación cuidadosa, que considere las características del edificio, el clima local y las necesidades de la comunidad.

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- Priorizar edificios en zonas urbanas con problemas de drenaje o riesgo de inundaciones.
- Evaluar la capacidad estructural de los techos para soportar el peso adicional del sistema verde.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Definir si el techo verde se orientará a la gestión del agua, la reducción de temperatura, la biodiversidad o una combinación de objetivos.
- Involucrar a los usuarios del edificio para identificar expectativas y beneficios adicionales, como el aislamiento térmico o estético.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Analizar el clima local (precipitación, temperatura, viento) para seleccionar especies y materiales adecuados.
- Asegurar la viabilidad económica con un análisis costo beneficio que incluya instalación, mantenimiento y beneficios ecológicos.

## 2. Diseño de Techos Verdes

### a. Selección de especies nativas adaptadas a inundaciones periódicas

- Elegir plantas resistentes a inundaciones y sequías, como suculentas, gramíneas o especies locales de bajo mantenimiento.
- Incorporar diversidad para aumentar la resiliencia del sistema y atraer fauna urbana.

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Diseñar capas funcionales, incluyendo:
  - Capa de impermeabilización para proteger el techo.
  - Capa de drenaje para evitar encharcamientos.
  - Sustrato liviano que facilite el crecimiento de las plantas sin sobrecargar la estructura.
- Integrar sistemas de captación de agua pluvial para reutilización en riego.

### c. Integración en el paisaje urbano

- Diseñar techos verdes accesibles que puedan usarse como espacios recreativos o educativos.

- Conectar los techos verdes a corredores biológicos urbanos para aumentar su impacto ecológico.

### 3. Fases de Implementación

#### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Inspeccionar la estructura del techo para confirmar su capacidad de carga.
- Instalar capas de impermeabilización y sistemas de protección contra raíces.

#### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Incorporar canales y tanques de almacenamiento para maximizar la recolección de agua pluvial.
- Establecer sistemas de riego automático para periodos secos, si es necesario.

#### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Colocar el sustrato y plantar vegetación en etapas, asegurando el enraizamiento adecuado.
- Aplicar técnicas iniciales de fertilización y riego para estabilizar las plantas.

### 4. Gestión y Monitoreo

#### a. Mantenimiento periódico

- Controlar el crecimiento de las plantas y retirar especies invasoras.
- Reemplazar vegetación muerta y verificar la funcionalidad del sistema de drenaje.

#### b. Monitoreo de calidad del agua y biodiversidad

- Analizar la calidad del agua captada para su posible reutilización.
- Documentar la presencia de aves, insectos y otras especies atraídas por el techo verde.

#### c. Ajustes y mejoras basados en datos recopilados

- Implementar mejoras en el riego o la selección de especies si se identifican áreas problemáticas.
- Optimizar la interacción del techo verde con los sistemas del edificio (por ejemplo, aislamiento térmico).

### 5. Impactos y Beneficios Esperados

#### a. Reducción de inundaciones urbanas

- Los techos verdes retienen agua de lluvia, reduciendo el volumen y la velocidad del agua que llega a los sistemas de alcantarillado.

#### b. Mejora de la calidad del agua

- La filtración natural en el sustrato reduce contaminantes antes de liberar el agua excedente al sistema.

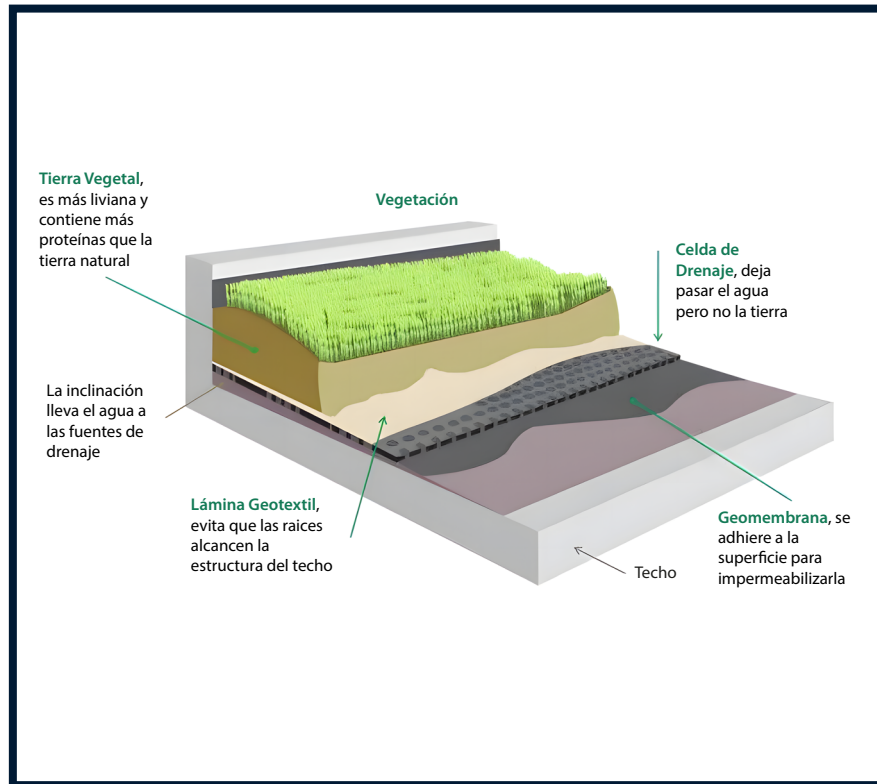
#### c. Creación de hábitats para la biodiversidad local

- Atraen polinizadores, aves y otros organismos, contribuyendo a la recuperación ecológica en entornos urbanos.

#### d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

- Mejoran el aislamiento acústico y térmico, reducen el efecto isla de calor y embellecen el paisaje urbano.

- Los techos verdes son una solución integral que emula ecosistemas terrestres para abordar problemas urbanos complejos. Su diseño adaptable y multifuncional los convierte en herramientas clave para ciudades sostenibles, aumentando la resiliencia ante desafíos climáticos y mejorando la calidad de vida urbana.



Los jardines verticales nativos, también denominados muros verdes o paredes vegetales, se han consolidado como una innovadora aplicación de las Soluciones basadas en la Naturaleza en el entorno urbano, ofreciendo una respuesta multifuncional a los desafíos de la sostenibilidad y la resiliencia (Perini et al., 2011). A diferencia de los jardines verticales convencionales, el enfoque en especies nativas potencia los beneficios ecológicos y la adaptación al contexto local, maximizando su contribución a la biodiversidad y la gestión del agua (Francis & Lorimer, 2011). Estos sistemas, que consisten en estructuras verticales cubiertas de vegetación, se integran en edificios y espacios públicos, transformando superficies inertes en ecosistemas vivos y funcionales (Köhler, 2008).

La capacidad de los jardines verticales nativos para mejorar la gestión del agua es uno de sus principales atractivos como SbN. La vegetación y el sustrato actúan como un filtro natural, absorbiendo y reteniendo el agua de lluvia, lo que reduce la escorrentía superficial y disminuye la presión sobre los sistemas de drenaje urbano (Dunnett & Kingsbury, 2008). Este proceso de filtración también contribuye a mejorar la calidad del agua, al remover contaminantes y sedimentos. Además, los jardines verticales nativos pueden reducir la demanda de riego, ya que las especies nativas suelen estar adaptadas a las

condiciones climáticas locales y requieren menos agua que las especies exóticas (Snodgrass & Snodgrass, 2006).

Más allá de la gestión del agua, los jardines verticales nativos ofrecen otros beneficios ambientales y sociales. Aumentan la biodiversidad en entornos urbanos, proporcionando hábitat para aves, insectos y otros animales polinizadores (Francis & Lorimer, 2011). Mejoran la calidad del aire al absorber contaminantes atmosféricos y liberar oxígeno. Reducen el efecto isla de calor urbano al proporcionar sombra y enfriamiento por evaporación. Mejoran la estética urbana y el bienestar humano al crear espacios verdes agradables y relajantes (Kellert et al., 2008).

La selección cuidadosa de especies nativas, adaptadas a las condiciones de luz, humedad y viento del sitio es fundamental para garantizar el éxito y la sostenibilidad a largo plazo de los jardines verticales nativos como SbN.

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- Seleccionar muros o fachadas en zonas urbanas con alta impermeabilización del suelo o vulnerabilidad al calor y la contaminación.
- Evaluar las condiciones estructurales de las paredes para soportar el peso del sistema vertical.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Establecer metas como mejorar la calidad del aire, regular la temperatura, gestionar el agua de lluvia o incrementar la biodiversidad.
- Consultar con comunidades y autoridades locales para alinear los objetivos del proyecto con las prioridades de la zona.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Evaluar el clima local (viento, sol, precipitación) para determinar las especies más adecuadas y los materiales necesarios.
- Analizar costos iniciales, de mantenimiento y los beneficios económicos indirectos (reducción del consumo energético, mejoras en salud pública).

## 2. Diseño de Jardines Verticales Nativos

### a. Selección de especies nativas adaptadas

- Optar por plantas locales de bajo mantenimiento, como gramíneas, suculentas o enredaderas, adaptadas a la humedad variable y la exposición solar.
- Incorporar diversidad vegetal para maximizar la resiliencia y atraer fauna benéfica, como polinizadores y aves.

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Diseñar sistemas de riego con captación de agua de lluvia y recirculación para maximizar la eficiencia.
- Incorporar capas funcionales en el sistema vertical:
  - Estructura de soporte resistente y ligera.
  - Capa impermeabilizante para proteger la pared.
  - Sustrato liviano que permita la retención de agua y nutrientes.

### c. Integración en el paisaje urbano o periurbano

- Situar los jardines en áreas visibles y estratégicas, como avenidas principales, parques o edificios públicos, para maximizar su impacto visual y ambiental.

- Conectar el jardín vertical con sistemas verdes circundantes, creando corredores ecológicos.

### 3. Fases de Implementación

#### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Se debe asegurar que la pared o estructura seleccionada esté reforzada y lista para instalar el sistema vertical. Montar la estructura de soporte y verificar su estabilidad.

#### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Integrar canales de captación de agua de lluvia y depósitos para riego automatizado o manual.
- Incorporar sensores para monitorear la humedad del sustrato y evitar el desperdicio de agua.

#### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Colocar las plantas seleccionadas en módulos o directamente en el sustrato vertical.
- Aplicar fertilización inicial y establecer un calendario de riego hasta que las plantas se estabilicen.

### 4. Gestión y Monitoreo

#### a. Mantenimiento periódico

- Podar las plantas regularmente para mantener su salud y estética.
- Sustituir las especies que no prosperen y limpiar el sistema de drenaje para evitar obstrucciones.

#### b. Monitoreo de la calidad del agua y la biodiversidad

- Analizar el agua utilizada para riego y la cantidad retenida o filtrada por el sistema.
- Registrar el aumento de especies de aves, insectos u otros organismos que interactúan con el jardín.

#### c. Ajustes y mejoras basados en los datos recopilados

- Optimizar el riego según los patrones climáticos o las necesidades del jardín.
- Ampliar o modificar el diseño para integrar nuevas especies o funciones, como cultivos comestibles.

### 5. Impactos y Beneficios Esperados

#### a. Reducción de inundaciones urbanas

- Los jardines verticales almacenan y filtran agua de lluvia, reduciendo la escorrentía y aliviando el sistema de drenaje urbano.

#### b. Mejora de la calidad del agua

- Filtran partículas y contaminantes del agua antes de que esta llegue a los desagües o sistemas pluviales.

#### c. Creación de hábitats para la biodiversidad local

- Proveen refugio y alimento para polinizadores, aves y pequeños mamíferos, enriqueciendo el ecosistema urbano.

#### d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

- Mejoran la estética urbana, reducen el ruido y regulan la temperatura, contribuyendo al bienestar de los habitantes.

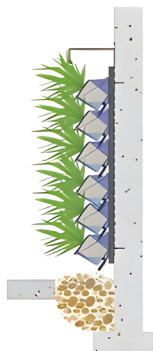
Estos sistemas replican la función de los ecosistemas verticales en la naturaleza, como acantilados o bosques colgantes. Actúan como filtros vivos y aportan soluciones multifacéticas que responden a los desafíos ambientales y sociales en entornos urbanos, fomentando un desarrollo sostenible e inclusivo.

Interior exterior



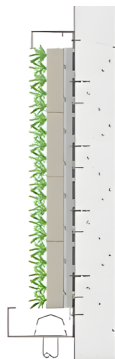
Fácil de aplicar con uso eficiente de agua  
Plantas en macetas de 4"  
Rápido y fácil de instalar y mantener la capacidad de temporada

Exterior



Sin paneles pre-cultivados  
Utiliza plantas en macetas de 1 galón  
Eficiente en agua  
Rápido y fácil de instalar y mantener

Exterior



Capacidad de diseño de paneles cuadrados de 1 pie pre-plantados resistentes a la interperie  
Larga duración

Exterior



Sistema de cribado de vid  
Diseñado para alturas y gran escala  
Rentable



Los parques multifuncionales representan una evolución en el concepto tradicional de parque urbano, integrando infraestructura verde y espacios recreativos con el objetivo de abordar múltiples desafíos ambientales, sociales y económicos, convirtiéndose así en una Solución basada en la Naturaleza de gran potencial (Tzoulas et al., 2007). A diferencia de los parques convencionales, que suelen centrarse en la recreación y el embellecimiento, los parques multifuncionales están diseñados para replicar y potenciar funciones ecológicas naturales, contribuyendo a la gestión del agua, la conservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y la mejora de la calidad de vida urbana (Gill et al., 2007).

La gestión del agua es un elemento central en el diseño de los parques multifuncionales. Estos parques suelen incorporar elementos como humedales artificiales, cuencas de retención y sistemas de infiltración para capturar y almacenar el agua de lluvia, reduciendo el riesgo de inundaciones y mejorando la calidad del agua al filtrar contaminantes (Ahern, 2011). La vegetación juega un papel fundamental en este proceso, ya que las plantas absorben el agua y reducen la escorrentía superficial. Además, los parques multifuncionales pueden contribuir a la recarga de acuíferos subterráneos, asegurando el suministro de agua dulce a largo plazo.

La biodiversidad es otro aspecto clave de los parques multifuncionales. Estos parques están diseñados para proporcionar hábitat para una variedad de especies vegetales y animales, creando corredores ecológicos que conectan diferentes áreas verdes de la ciudad (Bennet, 2003). La selección de especies nativas, adaptadas a las condiciones locales, es fundamental para garantizar el éxito de estos parques como refugios de biodiversidad.

Además, los parques multifuncionales ofrecen oportunidades para la educación ambiental y la sensibilización sobre la importancia de la conservación de la naturaleza. La planificación y gestión de los parques multifuncionales deben involucrar a la comunidad local, asegurando que estos espacios satisfagan las necesidades sociales y recreativas de los residentes, al tiempo que cumplen sus funciones ecológicas.

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas

- Localizar terrenos con potencial para ser transformados en parques multifuncionales, como espacios inundables, baldíos o zonas de alto riesgo de escorrentías.
- Identificar problemas específicos de la zona, como exceso de agua superficial, contaminación o falta de áreas verdes.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Consultar con la comunidad y autoridades para priorizar funciones del parque: recreativas, educativas, ecológicas o de mitigación de riesgos.
- Establecer objetivos claros, como reducir inundaciones, restaurar ecosistemas o proporcionar espacios recreativos seguros.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Analizar las condiciones climáticas locales (patrones de lluvia, temperatura, viento) para diseñar un parque resiliente.
- Evaluar costos iniciales, de mantenimiento y posibles beneficios económicos, como turismo ecológico o reducción de costos en infraestructura gris.

## 2. Diseño de Parques Multifuncionales

### a. Selección de especies nativas adaptadas a inundaciones periódicas

- Incorporar árboles, arbustos y plantas locales tolerantes a cambios en la humedad, que sean estéticamente atractivos y funcionales.
- Promover la diversidad vegetal para crear microhábitats que apoyen la biodiversidad local.

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Diseñar lagunas, zanjas de infiltración y áreas de retención para gestionar el agua de lluvia.
- Implementar superficies permeables, como senderos con grava o césped, que reduzcan la escorrentía.

### c. Integración en el paisaje urbano o periurbano

- Conectar el parque con otras áreas verdes o corredores ecológicos, aumentando su impacto ambiental.
- Incorporar infraestructura recreativa y educativa, como senderos, áreas de juegos y señalización sobre biodiversidad y gestión hídrica.

### 3. Fases de Implementación

#### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Nivelar el terreno y mejorar la calidad del suelo mediante técnicas como bioingeniería o aplicación de compost.
- Delimitar áreas específicas para sistemas de drenaje, zonas de recreación y plantación.

#### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Construir estructuras como lagunas, estanques y zanjas vegetadas para retener y filtrar agua de lluvia.
- Integrar sistemas de captación conectados a techos verdes o infraestructura cercana.

#### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Plantar árboles y vegetación en etapas para asegurar una cobertura uniforme y saludable.
- Introducir especies clave que estabilicen el suelo y promuevan interacciones ecológicas beneficiosas.

### 4. Gestión y Monitoreo

#### a. Mantenimiento periódico

- Realizar poda, limpieza de sistemas de drenaje y control de malezas para mantener el parque funcional y atractivo.
- Reponer plantas y ajustar el diseño según las necesidades cambiantes del ecosistema.

#### b. Monitoreo de la calidad del agua y la biodiversidad

- Evaluar la calidad del agua retenida en lagunas y su capacidad de infiltración.
- Registrar cambios en la biodiversidad, como la presencia de aves, insectos y anfibios.

#### c. Ajustes y mejoras basados en los datos recopilados

- Adaptar el manejo del parque según las variaciones climáticas o demandas comunitarias.
- Incorporar tecnología como sensores de humedad o monitoreo remoto para optimizar los recursos.

### 5. Impactos y Beneficios Esperados

#### a. Reducción de inundaciones urbanas

- Retienen grandes volúmenes de agua de lluvia, disminuyendo la presión sobre los sistemas de alcantarillado y mitigando inundaciones.

#### b. Mejora de la calidad del agua mediante filtración natural

- Los sistemas vegetados filtran contaminantes y sedimentos, mejorando la calidad del agua subterránea y superficial.

#### c. Creación de hábitats para la biodiversidad local

- Proveen refugio y alimento para aves, insectos polinizadores y pequeños mamíferos, restaurando el equilibrio ecológico.

#### d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

- Ofrecen espacios recreativos y educativos, mejorando la salud física y mental de los habitantes.

- Fomentan la cohesión social a través de actividades comunitarias y el disfrute compartido del parque.

Al diseñar estos parques, se replican funciones clave de los ecosistemas naturales, como la regulación del agua, la purificación del aire y el soporte a la biodiversidad. Estas soluciones son sostenibles y adaptativas, resolviendo problemas ambientales y fortaleciendo la resiliencia urbana frente al cambio climático.



Los corredores biológicos, entendidos como conexiones lineales de hábitats que permiten el movimiento de especies entre áreas fragmentadas, se han consolidado como una estrategia fundamental dentro de las Soluciones basadas en la Naturaleza para la conservación de la biodiversidad y la mejora de la resiliencia ecológica en entornos tanto rurales como urbanos (Bennett, 2003).

Más allá de su función principal como facilitadores del movimiento de la fauna y la flora, los corredores biológicos pueden ofrecer una variedad de servicios ecosistémicos adicionales, incluyendo la gestión del agua, la mitigación del cambio climático y la mejora de la calidad de vida humana, convirtiéndose en una herramienta valiosa para abordar los desafíos ambientales contemporáneos (Heller & Zavaleta, 2009).

La importancia de los corredores biológicos como SbN, radica en su capacidad para contrarrestar los efectos negativos de la fragmentación del hábitat, un proceso exacerbado por el desarrollo urbano y la expansión agrícola. Al conectar parches de hábitat aislados, los corredores biológicos permiten a las especies acceder a recursos esenciales, como alimento, agua y refugio, y facilitan el flujo genético entre poblaciones, lo que aumenta su viabilidad a

largo plazo (Crooks & Sanjayan, 2006). Además, los corredores biológicos pueden actuar como barreras contra la propagación de incendios forestales y la erosión del suelo, contribuir a la polinización de cultivos y la dispersión de semillas.

En el contexto urbano, los corredores biológicos pueden adoptar diversas formas, desde parques lineales y riberas de ríos hasta calles arboladas y techos verdes conectados, integrándose en la infraestructura existente y creando una red verde que permea toda la ciudad (Little, 1990). La planificación y diseño de los corredores biológicos deben considerar las necesidades específicas de las especies objetivo, así como las características del paisaje circundante, asegurando que estos corredores sean funcionales y efectivos. La participación de la comunidad local es esencial para garantizar el éxito de los proyectos de corredores biológicos, fomentando el sentido de pertenencia y promoviendo la gestión sostenible de estos espacios.

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- Localizar zonas urbanas y periurbanas que enfrentan problemas de fragmentación del hábitat, escorrentía pluvial excesiva o falta de infraestructura verde.
- Evaluar áreas vulnerables a la erosión o inundaciones, donde un corredor biológico pueda actuar como una solución para la retención de agua y la estabilización del suelo.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Consultar a la comunidad y a los expertos locales para definir el propósito del corredor: ¿Mejorar la calidad del aire? ¿Reducir la contaminación del agua? ¿Fomentar la biodiversidad?

- Establecer metas ecológicas claras, como restaurar la conectividad ecológica, incrementar la vegetación nativa y mitigar el impacto del cambio climático.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Evaluar las condiciones climáticas (frecuencia de lluvias, temperaturas, eventos extremos) para seleccionar especies resistentes y adaptadas.
- Considerar factores sociales, como la accesibilidad y la participación comunitaria, y los costos de implementación y mantenimiento, optimizando recursos.

## 2. Diseño de Corredores Biológicos

### a. Selección de especies nativas adaptadas a inundaciones periódicas

- Optar por especies locales que soporten inundaciones y sequías, como plantas acuáticas, hierbas y árboles resistentes a cambios en los niveles de agua.
- Integrar una diversidad de especies para ofrecer hábitats variados y promover la resiliencia ecológica ante plagas y enfermedades.

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Diseñar franjas vegetadas que funcionen como esponjas, capturando y filtrando el agua de lluvia.
- Incorporar sistemas de drenaje natural, como zanjas vegetadas, filtros de raíces y humedales lineales, para reducir la escorrentía y mejorar la calidad del agua.

### c. Integración de corredores biológicos en el paisaje urbano o periurbano

- Conectar áreas verdes fragmentadas en el paisaje urbano, formando corredores ecológicos que favorezcan el desplazamiento de fauna y la migración de especies.
- Integrar estos corredores con otras infraestructuras verdes (parques, jardines verticales, techos verdes) para crear un sistema urbano más ecológico y resiliente.

## 3. Fases de Implementación

### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Limpiar el área seleccionada, eliminando especies invasoras y preparando el suelo para la siembra de plantas nativas.
- Planificar la distribución de los sistemas de drenaje y las áreas de retención de agua para facilitar una gestión hídrica eficiente.

### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Crear zonas de captación de agua pluvial y sistemas de almacenamiento temporal como estanques o humedales lineales para permitir que el agua se infiltre gradualmente en el suelo.
- Implementar técnicas de bioingeniería para estabilizar las riberas de los corredores y prevenir la erosión.

### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Plantar especies nativas que promuevan la retención de agua y estabilicen el terreno.

- Incorporar vegetación de distintas capas (herbáceas, arbustivas y arbóreas) para crear un ecosistema diverso y funcional.

## 4. Gestión y Monitoreo

### a. Mantenimiento periódico

- Realizar visitas regulares para controlar el crecimiento de las plantas, podar cuando sea necesario y replantar especies que no se establecieron adecuadamente.
- Mantener los sistemas de drenaje y filtración libres de obstrucciones y asegurarse de que el agua fluya correctamente.

### b. Monitoreo de la calidad del agua y la biodiversidad

- Instalar sensores o realizar muestreos periódicos para evaluar la calidad del agua en el corredor y monitorear su capacidad para filtrar contaminantes.
- Realizar inventarios de especies de fauna y flora para evaluar el impacto positivo del corredor sobre la biodiversidad.

### c. Ajustes y mejoras basados en los datos recopilados

- Usar los datos obtenidos del monitoreo para ajustar la gestión del corredor biológico como cambiar especies, modificar áreas de captación de agua o mejorar los sistemas de filtración.

## 5. Impactos y Beneficios Esperados

### a. Reducción de inundaciones urbanas

- Los corredores biológicos absorben y retienen grandes cantidades de agua, lo que reduce el riesgo de inundaciones y mejora la gestión del agua de lluvia.

## b. Mejora de la calidad del agua mediante filtración natural

- Los sistemas vegetales filtran sedimentos y contaminantes del agua, mejorando la calidad del agua que llega a los acuíferos.

## c. Creación de hábitats para la biodiversidad local

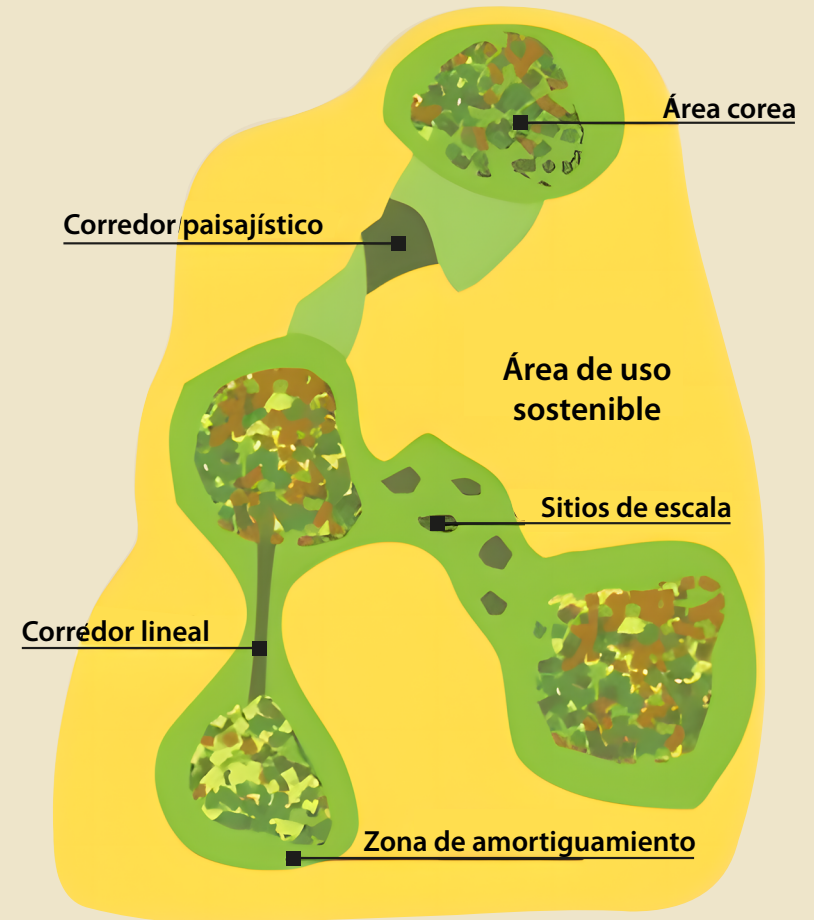
- Facilitan el paso de especies, restaurando la conectividad ecológica y promoviendo la diversidad biológica tanto de flora como de fauna.

## d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

- Proveen espacios recreativos, mejoran la estética urbana, y promueven un mayor contacto con la naturaleza. Además, pueden ofrecer beneficios educativos al involucrar a la comunidad en el proceso de conservación.

Los corredores biológicos actúan como sistemas naturales de gestión del agua, regulando el flujo de agua y promoviendo la biodiversidad. Al integrar estos corredores en el entorno urbano, se resuelven problemas como la fragmentación de hábitats, las inundaciones y la contaminación del agua, creando espacios sostenibles que mejoran la resiliencia de las ciudades ante el cambio climático.

# Configuración espacial de una red ecológica





Los huertos comunitarios y los cultivos verticales representan dos estrategias complementarias en el marco de las Soluciones basadas en la Naturaleza para promover la seguridad alimentaria, la sostenibilidad urbana y el bienestar comunitario (Hodgson, 2011). Mientras que los huertos comunitarios aprovechan espacios abiertos, a menudo subutilizados, para el cultivo de alimentos a pequeña escala, los cultivos verticales optimizan el uso del espacio en entornos urbanos densos mediante la creación de sistemas de producción de alimentos en estructuras verticales (Specht et al., 2014). Ambas prácticas, cuando se implementan de manera sostenible y participativa, pueden contribuir significativamente a la resiliencia urbana y a la mejora de la calidad de vida.

Los cultivos verticales por su parte, ofrecen una solución innovadora para la producción de alimentos en ciudades con espacio limitado. Estos sistemas pueden adoptar diversas formas, desde muros verdes y jardines verticales hasta granjas verticales en edificios, y pueden utilizar tecnologías como la hidroponía, la aeroponía y la acuaponía para optimizar el uso del agua y los nutrientes (Benke & Tomkins, 2017).

Los cultivos verticales pueden reducir la huella de carbono asociada al transporte de alimentos, aumentar la eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes, y proporcionar alimentos frescos y disponibles durante todo el año. Sin embargo, es importante considerar los costos energéticos asociados a la iluminación y la climatización de los sistemas de cultivo vertical, y buscar soluciones que minimicen su impacto ambiental. La combinación de huertos comunitarios y cultivos verticales, adaptados a las condiciones y necesidades específicas de cada contexto urbano, puede maximizar los beneficios de estas SbN y contribuir a la creación de ciudades más resilientes, sostenibles y habitables.

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- Utilizar mapas de riesgo de inundaciones, mapas topográficos y datos climáticos para localizar zonas vulnerables a acumulación de agua o susceptibles de mejora ecológica.
- Seleccionar terrenos urbanos o periurbanos que cuenten con espacio disponible y que estén cercanos a las comunidades beneficiarias.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Realizar encuestas y talleres participativos con la comunidad para entender sus necesidades (seguridad alimentaria, mejora del entorno urbano, generación de empleo).
- Establecer metas claras: Reducción de escorrentía, filtración de agua, y aumento de la biodiversidad.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Evaluar el clima local (precipitaciones, temperatura

promedio) para identificar especies vegetales y técnicas agrícolas adecuadas.

- Analizar factores socioeconómicos (presupuesto, mano de obra disponible, acceso a agua).
- Identificar posibles aliados: Gobiernos locales, ONG, empresas privadas y universidades.

## 2. Diseño de Huertos Comunitarios y Cultivos Verticales

### a. Selección de especies nativas adaptadas a inundaciones periódicas

- Optar por plantas con capacidad de absorber grandes volúmenes de agua y tolerantes a condiciones fluctuantes (por ejemplo, especies como junco, bambú, o frutales resistentes).
- Incluir vegetación con raíces profundas para mejorar la infiltración de agua.

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Diseñar zanjas de infiltración, biofiltros y sistemas de almacenamiento de agua (como cisternas o tanques recolectores).
- Incorporar humedales artificiales que permitan filtrar el agua de escorrentía.

### c. Integración en el paisaje urbano o periurbano

- Utilizar espacios infrautilizados como azoteas, paredes, y terrenos baldíos para implementar cultivos verticales.
- Diseñar huertos comunitarios multifuncionales con caminos permeables, bancos, y áreas verdes para fomentar la participación ciudadana.

### 3. Fases de Implementación

#### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Nivelar el terreno para garantizar el flujo adecuado del agua.
- Implementar infraestructura básica como canales de drenaje y bases para los cultivos verticales.

#### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Colocar techos verdes, recolectores de agua pluvial, y sistemas de riego eficiente (por goteo o capilaridad).
- Construir reservorios naturales o tanques que permitan almacenar agua para riego en épocas secas.

#### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Plantar especies en etapas, comenzando por aquellas que estabilizan el suelo.
- Instalar estructuras para cultivos verticales, como paneles modulares, y sembrar hortalizas y plantas ornamentales.

### 4. Gestión y Monitoreo

#### a. Mantenimiento periódico

- Establecer un plan de mantenimiento comunitario para limpiar los sistemas de captación y prevenir obstrucciones.
- Aplicar prácticas agrícolas sostenibles (compostaje, uso limitado de fertilizantes).

#### b. Monitoreo de calidad del agua y biodiversidad

- Usar sensores o kits de prueba para medir parámetros como pH, turbidez, y presencia de nutrientes en el agua.

- Realizar inventarios periódicos de especies para evaluar la salud del ecosistema.

#### c. Ajustes y mejoras

- Analizar los datos recopilados para identificar áreas de mejora (optimización del riego e introducción de nuevas especies).
- Incorporar innovaciones tecnológicas como riego automatizado o cultivos hidropónicos si es viable.

### 5. Impactos y Beneficios Esperados

#### a. Reducción de inundaciones urbanas

- Los sistemas de drenaje natural reducen la acumulación de agua en épocas de lluvias intensas.

#### b. Mejora de la calidad del agua

- Los huertos filtran sedimentos y contaminantes, contribuyendo a la purificación del agua de escorrentía.

#### c. Creación de hábitats para la biodiversidad local

- Las especies nativas atraen fauna beneficiosa como polinizadores y aves, fomentando un ecosistema equilibrado.

#### d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

- Los huertos promueven la seguridad alimentaria, la cohesión social y el bienestar emocional al conectar a las personas con la naturaleza.

Esta solución replica procesos naturales al manejar el agua de forma integrada, optimizando recursos y fortaleciendo la resiliencia urbana. Al ser adaptables, los huertos y cultivos verticales pueden

implementarse en diversas escalas, convirtiéndose en modelos sostenibles para enfrentar los desafíos ambientales y sociales de las ciudades.



Los jardines polinizadores emergen como una valiosa Solución basada en la Naturaleza para abordar la crisis global de la polinización, un proceso ecológico fundamental para la producción de alimentos y la conservación de la biodiversidad (Potts et al., 2010). Estos jardines, diseñados específicamente para atraer y sustentar a los polinizadores, como abejas, mariposas, aves y murciélagos, se convierten en refugios vitales en entornos urbanos y agrícolas donde los hábitats naturales han sido degradados o fragmentados (Hicks et al., 2016). Al proporcionar alimento, agua y refugio a los polinizadores, los jardines polinizadores contribuyen a la salud de los ecosistemas, la seguridad alimentaria y el bienestar humano (IPBES, 2016).

La importancia de los polinizadores radica en su papel crucial en la reproducción de muchas plantas, incluyendo una gran proporción de los cultivos alimentarios que sustentan a la humanidad. La disminución de las poblaciones de polinizadores, debido a factores como la pérdida de hábitat, el uso de pesticidas y el cambio climático, representa una amenaza para la producción de alimentos, la economía agrícola y la estabilidad de los ecosistemas (Gallai et al., 2009). Los jardines polinizadores, al crear hábitats favorables para los polinizadores, pueden ayudar a mitigar estos impactos negativos y promover la resiliencia de los sistemas agrícolas y ecológicos.

El diseño de un jardín polinizador exitoso requiere la selección cuidadosa de especies vegetales nativas que proporcionen néctar y polen a lo largo de toda la temporada de floración, así como la provisión de fuentes de agua limpia y refugio contra depredadores y condiciones climáticas adversas (Shepherd et al., 2003). La eliminación o reducción del uso de pesticidas es fundamental para proteger a los polinizadores de la exposición a sustancias tóxicas. La participación de la comunidad local en la planificación, el diseño y el mantenimiento de los jardines polinizadores puede aumentar la sensibilización sobre la importancia de la polinización y fomentar el apoyo a la conservación de los polinizadores.

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- Localizar espacios urbanos o periurbanos degradados, baldíos o infrautilizados que puedan convertirse en jardines polinizadores.
- Analizar mapas de biodiversidad para identificar áreas con baja densidad de polinizadores.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Realizar consultas comunitarias para entender las necesidades de mejora del paisaje urbano, educación ambiental, apoyo a la agricultura local.
- Establecer objetivos claros: Aumentar la población de polinizadores, mejorar la conectividad ecológica y proporcionar espacios educativos.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Evaluar el clima local (temperatura, precipitación, estaciones de floración) para seleccionar especies nativas adecuadas.

- Analizar el contexto socioeconómico para definir un presupuesto viable, identificar mano de obra y socios estratégicos (ONG, universidades).

## 2. Diseño de Jardines Polinizadores

### a. Selección de especies nativas y plantas atractivas para polinizadores

- Priorizar plantas nativas de floración escalonada para proporcionar néctar y polen durante todo el año.
- Incluir una variedad de flores, arbustos y árboles que beneficien a diferentes tipos de polinizadores (abejas, mariposas, colibríes).

### b. Creación de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Incorporar refugios para polinizadores, como cajas nido, troncos huecos o áreas con suelo desnudo para abejas solitarias.
- Diseñar áreas de descanso y alimentación para insectos, con fuentes de agua accesibles como recipientes con piedras para evitar ahogamientos.

### c. Integración en el paisaje urbano o periurbano

- Diseñar jardines en corredores ecológicos, parques, escuelas o azoteas verdes para conectar hábitats fragmentados.
- Usar principios de diseño paisajístico para combinar estética y funcionalidad, maximizando el uso del espacio disponible.

### 3. Fases de Implementación

#### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Mejorar la calidad del suelo mediante técnicas como compostaje o biofertilizantes para garantizar el crecimiento saludable de las plantas.
- Eliminar especies invasoras y preparar el área para la plantación.

#### b. Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua

- Colocar elementos de apoyo como pérgolas, bancos y carteles educativos que expliquen la importancia de los polinizadores.
- Construir estructuras específicas para los polinizadores, como hoteles para insectos o plataformas para abejas.

#### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Realizar la plantación en fases, priorizando especies de rápido crecimiento para estabilizar el terreno y generar resultados iniciales visibles.
- Implementar estrategias de riego eficiente (por ejemplo, riego por goteo) durante el establecimiento de las plantas.

### 4. Gestión y Monitoreo

#### a. Mantenimiento periódico

- Podar las plantas regularmente para mantener la salud del jardín y evitar el sobrecrecimiento de algunas especies.
- Reemplazar especies dañadas o poco adaptadas con otras que cumplan los objetivos ecológicos.

#### b. Monitoreo de la calidad del agua y la biodiversidad

- Realizar censos regulares de polinizadores (conteos de abejas, mariposas y aves) para evaluar el impacto del jardín.
- Registrar los períodos de floración para asegurar la disponibilidad continua de recursos alimenticios.

#### c. Ajustes y mejoras basados en los datos recopilados

- Analizar los datos recolectados para identificar posibles áreas de mejora (cambios en las especies plantadas o ampliación del jardín).
- Fomentar la participación comunitaria en actividades de monitoreo y mantenimiento, asegurando la sostenibilidad a largo plazo.

### 5. Impactos y Beneficios Esperados

#### a. Incremento en la población de polinizadores

- Al proporcionar hábitats adecuados, se espera un aumento de especies como abejas, mariposas y colibríes en la zona.

#### b. Mejora de la biodiversidad urbana

- La introducción de jardines polinizadores en áreas urbanas aumenta la conectividad ecológica y mejora la salud de los ecosistemas locales.

#### c. Beneficios educativos y sociales

- Los jardines polinizadores pueden convertirse en espacios de aprendizaje sobre ecología y sostenibilidad, fomentando la concienciación ambiental.

#### d. Incremento en la calidad de vida de la comunidad

Estos jardines embellecen el entorno urbano, mejoran la calidad del aire y brindan espacios de recreación y relajación para la comunidad. Los jardines polinizadores replican procesos naturales al fomentar la interacción entre plantas y polinizadores, lo que fortalece los ecosistemas y mejora la resiliencia urbana. Su implementación es adaptable y puede integrarse fácilmente en diversos contextos urbanos o periurbanos, promoviendo la sostenibilidad y el bienestar comunitario.



La restauración de quebradas, pequeños cursos de agua que discurren por terrenos accidentados, se presenta como una estrategia clave dentro de las Soluciones basadas en la Naturaleza para la gestión integrada del agua, la conservación de la biodiversidad y la mejora de la resiliencia de los ecosistemas urbanos y rurales (Bernhardt et al., 2005). Estos ecosistemas, a menudo degradados por la urbanización, la agricultura y la minería, desempeñan un papel crucial en la regulación de los flujos hídricos, la filtración de contaminantes y el mantenimiento de la biodiversidad local (Booth et al., 2002). La restauración de quebradas implica la recuperación de las funciones ecológicas naturales de estos ecosistemas, mejorando su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos y contribuir al bienestar humano (Palmer et al., 2005).

La importancia de las quebradas como SbN radica en su capacidad para gestionar el agua de lluvia, reducir el riesgo de inundaciones y mejorar la calidad del agua. La vegetación ribereña, compuesta por árboles, arbustos y hierbas nativas, actúa como una barrera natural que reduce la erosión del suelo, filtra los sedimentos y los contaminantes, y proporciona sombra y refugio para la fauna acuática (Sweeney & Newbold, 2014). La restauración de la conectividad longitudinal de las quebradas, mediante la eliminación de barreras

artificiales como represas y alcantarillas, permite el libre movimiento de peces y otros organismos acuáticos, mejorando la salud del ecosistema.

La restauración de quebradas también puede contribuir a la mejora de la calidad de vida de las comunidades locales, creando espacios verdes accesibles para la recreación, la educación ambiental y el contacto con la naturaleza. La participación de la comunidad en la planificación, el diseño y el mantenimiento de los proyectos de restauración es fundamental para garantizar su éxito y sostenibilidad a largo plazo. Los proyectos de restauración de quebradas deben considerar las características específicas de cada ecosistema, así como las necesidades y prioridades de las comunidades locales, adoptando un enfoque integrado y participativo.

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas

- Utilizar mapas hidrológicos y datos topográficos para identificar quebradas con problemas de contaminación, sedimentación o encajonamiento.
- Evaluar la conectividad de las quebradas con otros cuerpos de agua, identificando puntos críticos para su funcionalidad ecológica.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Realizar encuestas y talleres con comunidades cercanas para entender los impactos sociales y económicos de la degradación de la quebrada (inundaciones, pérdida de biodiversidad, etc.).
- Establecer objetivos: Reducción de contaminación, restauración de la biodiversidad, mejora del manejo hídrico y creación de espacios recreativos.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Analizar patrones de precipitación y variabilidad climática para diseñar soluciones resilientes a eventos extremos.
- Considerar restricciones legales, disponibilidad de financiamiento y participación comunitaria en el proceso.

## 2. Diseño del Proyecto de Restauración

### a. Selección de especies nativas y vegetación riparia

- Elegir plantas nativas adaptadas a las condiciones locales, como gramíneas, arbustos y árboles que estabilicen el suelo y absorban contaminantes.
- Incluir vegetación acuática (juncos o totoras) para mejorar la calidad del agua mediante procesos de filtración natural.

### b. Diseño de sistemas de drenaje natural, almacenamiento y filtración

- Incorporar bioingeniería (troncos, gaviones vegetados, y barreras naturales) para estabilizar las orillas y prevenir la erosión.
- Diseñar humedales artificiales o naturales en las áreas bajas para filtrar el agua antes de que llegue a otros cuerpos de agua.

### c. Creación de espacios multifuncionales

- Diseñar senderos ecológicos, áreas de educación ambiental y zonas recreativas que fomenten la interacción de la comunidad con el ecosistema restaurado.
- Integrar bancos de sedimentos controlados y áreas de absorción para manejar inundaciones de manera sostenible.

### 3. Fases de Implementación

#### a. Limpieza inicial y preparación del terreno

- Retirar escombros, residuos sólidos y sedimentos contaminantes acumulados en la quebrada y sus alrededores.
- Identificar y mitigar fuentes puntuales de contaminación, como descargas de aguas residuales.

#### b. Instalación de estructuras naturales

- Construir barreras vegetadas, biofiltros y estructuras permeables para reducir la velocidad del agua y mejorar su calidad.
- Reintroducir material orgánico natural como troncos y rocas para recrear hábitats para la fauna acuática.

#### c. Plantación y estabilización del ecosistema

- Sembrar vegetación riparia y acuática en fases, priorizando especies de rápido crecimiento para estabilizar el suelo y mejorar la calidad del agua.
- Construir conexiones entre las áreas restauradas y otros ecosistemas cercanos para fomentar la conectividad ecológica.

### 4. Gestión y Monitoreo

#### a. Mantenimiento periódico

- Monitorear la vegetación y eliminar especies invasoras que puedan competir con las plantas nativas.
- Mantener limpios los sistemas de drenaje y retirar sedimentos excesivos.

#### b. Evaluación de la calidad del agua y biodiversidad

- Usar indicadores como oxígeno disuelto, niveles de nitratos y biodiversidad macroinvertebrada para medir la mejora de la salud del ecosistema.
- Realizar censos de flora y fauna periódicamente para evaluar la recuperación ecológica.

#### c. Ajustes y mejoras

- Adaptar el diseño según las observaciones del comportamiento del agua durante lluvias intensas o cambios estacionales.
- Fomentar la educación ambiental para que la comunidad sea guardiana activa del ecosistema restaurado.

### 5. Impactos y Beneficios Esperados

#### a. Reducción de inundaciones y erosión

- Al estabilizar las orillas y mejorar la infiltración, se reducen los riesgos asociados a inundaciones urbanas y pérdida de suelo.

#### b. Mejora de la calidad del agua

- La vegetación y los sistemas de filtración natural eliminan sedimentos, contaminantes y nutrientes en exceso del agua.

#### c. Recuperación de la biodiversidad

- La restauración genera hábitats para flora y fauna, incrementando la riqueza de especies en el área.

#### d. Mejora en la calidad de vida de la comunidad

- La quebrada restaurada se convierte en un espacio recreativo, educativo y de conexión con la naturaleza, mejorando la salud mental y física de los residentes cercanos.

La restauración de quebradas replica procesos naturales como la filtración de agua, la estabilización del suelo y la generación de hábitats, contribuyendo a la sostenibilidad urbana. Este enfoque puede adaptarse a diferentes contextos y escalas, promoviendo la resiliencia y la calidad de vida en las comunidades urbanas y periurbanas.



Los Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS, por sus siglas en inglés), también conocidos como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, se han consolidado como una estrategia clave dentro de las Soluciones basadas en la Naturaleza para la gestión integral de las aguas pluviales en entornos urbanos (Woods Ballard et al., 2015). A diferencia de los sistemas de drenaje convencionales, que se centran en la rápida evacuación de las aguas pluviales, los SuDS buscan imitar los procesos hidrológicos naturales, reduciendo el riesgo de inundaciones, mejorando la calidad del agua, fomentando la biodiversidad y creando espacios urbanos más agradables y resilientes (CIRIA, 2007).

Los SuDS representan un cambio de paradigma en la gestión de las aguas pluviales, pasando de un enfoque centrado en la “ingeniería gris” a un enfoque que integra la infraestructura verde y la infraestructura azul en el diseño urbano.

La efectividad de los SuDS como SbN radica en su capacidad para gestionar las aguas pluviales en su origen, reduciendo la cantidad de agua que llega a los sistemas de drenaje convencionales. Los SuDS pueden incluir una variedad de técnicas y elementos de diseño, como techos verdes, pavimentos permeables, zanjas de infiltración,

humedales artificiales, cuencas de retención y sistemas de recolección de agua de lluvia (Dietz, 2007). Estos elementos trabajan en conjunto para capturar, almacenar, filtrar y liberar gradualmente las aguas pluviales, reduciendo el riesgo de inundaciones, mejorando la calidad del agua y proporcionando hábitat para la fauna y la flora urbana.

La implementación exitosa de los SuDS requiere una planificación cuidadosa que considere las características específicas del sitio, el clima local, las necesidades de la comunidad y los objetivos de gestión del agua. La participación de la comunidad en la planificación y el diseño de los SuDS es fundamental para garantizar su aceptación y sostenibilidad a largo plazo. Los SuDS pueden ofrecer una variedad de beneficios adicionales, incluyendo la reducción del efecto isla de calor urbano, la mejora de la estética urbana, el aumento del valor de las propiedades y la promoción de la actividad física y el bienestar humano (Fletcher et al., 2015).

## 1. Diagnóstico Inicial y Análisis del Contexto

### a. Identificación de áreas propensas a inundaciones

- Analizar mapas de riesgo de inundaciones y datos topográficos para identificar zonas urbanas susceptibles a acumulaciones de agua y escorrentía excesiva.
- Localizar puntos críticos, como áreas impermeabilizadas (calles, techos, estacionamientos) que aumentan el volumen y velocidad del agua de lluvia.

### b. Evaluación de necesidades locales y objetivos ecológicos

- Realizar consultas con la comunidad para identificar problemas relacionados con el agua pluvial, como inundaciones recurrentes o deterioro de infraestructura.
- Definir objetivos: Reducir escorrentía, mejorar la calidad del agua y aumentar la resiliencia climática mediante soluciones naturales.

### c. Consideración de factores climáticos, sociales y económicos

- Evaluar patrones de precipitación, frecuencia de eventos extremos y su impacto en el sistema actual de drenaje.
- Determinar la viabilidad económica del proyecto y considerar la participación de actores locales, como gobiernos y empresas.

## 2. Diseño de Sistemas de Drenaje Sostenible

### a. Incorporación de infraestructura verde y azul

- Diseñar sistemas como jardines de lluvia, techos verdes, humedales urbanos y zanjas de infiltración que reduzcan la velocidad y volumen del agua.
- Integrar pavimentos permeables en calles, banquetas y estacionamientos para aumentar la infiltración.

### b. Captación, almacenamiento y reutilización del agua pluvial

- Implementar sistemas de captación en techos y almacenamiento en cisternas para reutilizar el agua en riego o limpieza urbana.
- Diseñar áreas de retención (estanques temporales o depósitos subterráneos) que amortigüen picos de lluvia intensa.

### c. Conexión con el entorno urbano

- Vincular los sistemas sostenibles con los cuerpos de agua naturales cercanos, evitando la sobrecarga de drenajes convencionales.
- Incorporar diseño paisajístico para embellecer los espacios urbanos y fomentar la interacción comunitaria.

### 3. Fases de Implementación

#### a. Preparación del terreno y obras iniciales

- Realizar levantamientos topográficos para asegurar la pendiente adecuada y facilitar el flujo del agua.
- Identificar áreas prioritarias para intervención y preparar el terreno, eliminando impermeabilización innecesaria.

#### b. Construcción de sistemas de infiltración y almacenamiento

- Instalar zanjas de infiltración, pozos de absorción y jardines de lluvia en áreas estratégicas para manejar la escorrentía.
- Construir reservorios naturales o cisternas para captar y almacenar agua pluvial.

#### c. Establecimiento de infraestructura verde

- Plantar vegetación nativa y resistente en los jardines de lluvia y techos verdes para mejorar la absorción y filtración del agua.
- Implementar pavimentos permeables en áreas urbanas de alto tráfico.

### 4. Gestión y Monitoreo

#### a. Mantenimiento periódico

- Realizar inspecciones regulares para retirar sedimentos, hojas y desechos que puedan obstruir el sistema.
- Podar la vegetación y replantar en caso de deterioro o pérdida de especies.

#### b. Monitoreo del rendimiento del sistema

- Medir el volumen de agua captada e infiltrada, así como la calidad del agua tratada por los sistemas verdes.
- Analizar datos de eventos climáticos extremos para evaluar la capacidad del sistema frente a lluvias intensas.

#### c. Ajustes y mejoras basados en los datos recopilados

- Adaptar la infraestructura según los resultados del monitoreo, ampliando o modificando elementos según sea necesario.
- Incorporar innovaciones tecnológicas, como sensores para monitoreo remoto de la calidad y niveles de agua.

### 5. Impactos y Beneficios Esperados

#### a. Reducción de inundaciones urbanas

- Los sistemas de infiltración y almacenamiento disminuyen el volumen de escorrentía, mitigando inundaciones y sobrecargas en el drenaje convencional.

#### b. Mejora de la calidad del agua

- Los jardines de lluvia y humedales urbanos filtran contaminantes y sedimentos, mejorando la calidad del agua que regresa a los cuerpos hídricos.

#### c. Contribución a la biodiversidad urbana

- La infraestructura verde crea hábitats para flora y fauna local, mejorando la conectividad ecológica en entornos urbanos.

#### d. Beneficios sociales y estéticos

- Los espacios verdes embellecen la ciudad, mejoran la calidad de vida y ofrecen áreas de recreación y educación ambiental.

El drenaje sostenible utiliza procesos naturales para manejar el agua de lluvia de manera eficiente, replicando ciclos hidrológicos en entornos urbanos. Esta solución integra objetivos ecológicos, sociales y económicos, promoviendo la resiliencia climática y la sostenibilidad en las ciudades.



## 2. Manual Técnico



**Extractado de Soluciones basadas en la Naturaleza en América Latina y el Caribe: mecanismos de financiación para la replicación regional, Marsters et al., 2021.**

### Introducción

El crecimiento urbano, los efectos del cambio climático y la necesidad de sostenibilidad han generado un interés creciente en las Soluciones basadas en la Naturaleza. Estas integran la restauración y conservación de ecosistemas como alternativa o complemento a la infraestructura tradicional, ofreciendo beneficios ambientales, sociales y económicos. Este manual guía a los municipios en el diseño y la implementación de proyectos de SbN financiados mediante bonos verdes.

## 1. Definición del Proyecto

### 1.1 Objetivo Principal

Definir claramente la problemática que se busca resolver y cómo el proyecto lo abordará a través de SbN.

Por ejemplo:

- Problema: Deterioro de la calidad del agua en una cuenca debido a la deforestación.
- Solución: Restaurar la cuenca a través de reforestación y protección de áreas naturales, asegurando una mejor calidad y cantidad de agua para los habitantes.

### 1.2 Identificación de Beneficios

Establecer los resultados esperados:

- Ambientales: Aumento de la biodiversidad, mejora de la calidad del agua, mitigación del cambio climático.
- Sociales: Generación de empleo, reducción de riesgos por desastres naturales.
- Económicos: Ahorro en infraestructura gris, acceso a financiamiento sostenible.

### 1.3 Alcance Geográfico

Especificar la ubicación del proyecto y los ecosistemas que se abordarán (e.g., cuencas hidrográficas, áreas verdes urbanas).

## 2. Identificación de Actores Clave

### 2.1 Gobierno Local

El municipio lidera la planificación, emisión del bono y ejecución del proyecto.

Definir:

- Roles (gestión del presupuesto, supervisión técnica).
- Departamentos involucrados (e.g., medio ambiente, finanzas).

### 2.2 Sector Privado

Identificar posibles inversionistas interesados en sostenibilidad, como:

- Bancos.
- Empresas con metas de responsabilidad social corporativa.
- Fondos de inversión.

### 2.3 Socios Estratégicos

Incluir:

- Organizaciones no gubernamentales (ONG): Experiencia técnica en restauración de ecosistemas.
- Comunidades locales: Beneficiarios que pueden aportar conocimientos tradicionales y apoyo en la ejecución.

## 3. Desarrollo del Plan de Financiamiento

### 3.1 Elección del Instrumento Financiero

El bono verde debe cumplir con estándares reconocidos, como los Green Bond Principles (GBP), que aseguran que los ingresos se destinen a proyectos sostenibles.

### 3.2 Estructura del Bono

- Monto del bono: Determinar las necesidades financieras para la planificación, ejecución y monitoreo del proyecto.
- Duración: Establecer plazos realistas para el retorno de la inversión.
- Flujos de reembolso: Basados en tarifas por servicios públicos, ingresos municipales o aportes privados.

### 3.3 Ejemplo de Caso

En el Fondo para la Protección del Agua (FONAG) de Quito, los ingresos del bono provienen de tarifas pagadas por empresas comerciales y de servicios públicos, acumulados en un fondo de dotación que asegura financiamiento sostenible a largo plazo.

## 4. Diseño del Marco Regulatorio

### 4.1 Políticas Municipales

- Incorporar las SbN en los planes de desarrollo local.
- Crear normativas para priorizar proyectos de SbN en las licitaciones públicas.

### 4.2 Certificación de Bonos Verdes que garantice que los proyectos cumplan con:

- Criterios ambientales: Definidos por estándares como el GBP.
- Verificación externa: Proceso de auditoría independiente para validar el uso de fondos.

### 4.3 Incentivos Fiscales

- Reducir impuestos a inversionistas verdes.

- Crear tarifas preferenciales para servicios vinculados al proyecto.

## 5. Implementación del Proyecto

### 5.1 Contratación de Expertos

- Técnicos en SbN: Para diseñar y supervisar las intervenciones.
- Gestores financieros: Para manejar los recursos del bono y asegurar su uso eficiente.

### 5.2 Plan de Ejecución

- Fase inicial: Estudios de viabilidad, establecimiento del fondo de dotación.
- Fase intermedia: Ejecución de actividades, como la reforestación o creación de infraestructura verde.
- Fase final: Monitoreo de impactos, ajustes y mantenimiento.

### 5.3 Ejemplo de Acciones

En Quito, se implementaron:

- Programas de reforestación en cuencas estratégicas.
- Infraestructura verde, como barreras naturales para prevenir deslizamientos.

## 6. Monitoreo y Evaluación

### 6.1 Indicadores de Éxito

- Ambientales: Aumento en la cobertura forestal, mejora en la calidad del agua.
- Económicos: Reducción de costos en infraestructura gris.

- Sociales: Mayor participación de la comunidad y reducción de riesgos.

## 6.2 Informes Periódicos

Establecer un cronograma para reportar los avances a:

- Inversionistas.
- Autoridades locales.
- Comunidad.

## 6.3 Métodos de Evaluación

- Utilizar tecnologías como drones y sensores para medir impactos ambientales.
- Encuestas a la población para evaluar beneficios percibidos.

## 7. Estrategias de Replicación

### 7.1 Documentación del Proceso

- Elaborar manuales y guías para compartir las mejores prácticas aprendidas.

### 7.2 Fortalecimiento de Capacidades

- Organizar talleres para otras municipalidades interesadas.
- Crear una red de intercambio de conocimientos sobre SbN.

### 7.3 Escalabilidad

- Analizar cómo expandir el proyecto a nuevas áreas.
- Adaptar el modelo a contextos rurales o urbanos similares.

## Recomendaciones finales

1. Alinear objetivos ambientales y financieros: Prover datos sólidos sobre los beneficios esperados para atraer inversionistas.
2. Fomentar alianzas estratégicas: Involucrar a actores públicos y privados desde el inicio.
3. Priorizar la transparencia: Mantener procesos claros y accesibles para todos los interesados.
4. Este manual puede adaptarse según las necesidades específicas de cada municipio, promoviendo la sostenibilidad financiera y el éxito de los proyectos de SbN.

### 3. Adaptación basada en Ecosistemas



La Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) se ha consolidado como una de las estrategias más eficaces y sostenibles para enfrentar los efectos del cambio climático, especialmente en territorios socioecológicamente vulnerables como las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de América Latina. Esta estrategia reconoce el papel fundamental de los ecosistemas sanos y funcionales como barreras naturales que no solo reducen la exposición y vulnerabilidad de las comunidades ante fenómenos climáticos extremos, sino que también promueven beneficios coadyuvantes como la conservación de la biodiversidad, la mejora de los servicios ecosistémicos y el fortalecimiento del tejido social (UNEP, 2012; Andrade et al., 2011).

Las técnicas de AbE permiten restaurar ecosistemas degradados, mitigar los efectos de la deforestación y revertir procesos de cambio de uso de suelo, lo que a su vez fortalece la resiliencia tanto ecológica como social. Este enfoque holístico se ha vuelto particularmente relevante en contextos latinoamericanos, donde la pérdida de cobertura vegetal, la presión agrícola, el crecimiento urbano desordenado y la desigualdad socioambiental aumentan la vulnerabilidad frente al cambio climático (Locatelli et al., 2015).

Diversas experiencias regionales han demostrado que la implementación de prácticas AbE puede ser altamente efectiva. Por ejemplo, en Centroamérica, pequeños caficultores han integrado técnicas como la incorporación de árboles de sombra en cafetales, el arado en contorno, la instalación de huertos familiares agroecológicos y la creación de cercas vivas, adecuando estas prácticas a condiciones biofísicas locales y a las capacidades comunitarias (Chain Guadarrama et al., 2019). Estas medidas no solo contribuyen a la mitigación del cambio climático al aumentar la captura de carbono y mejorar la infiltración hídrica, sino que también refuerzan la seguridad alimentaria y los medios de vida rurales.

Además, a nivel nacional, muchos países de América Latina y el Caribe están desarrollando políticas de adaptación y mitigación que incluyen componentes AbE, como parte de sus Planes Nacionales de Adaptación (PNA) y Comunicaciones Nacionales a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (Sánchez y Reyes, 2015). Estas políticas reflejan un creciente reconocimiento de la importancia de integrar la conservación de la naturaleza con la gestión del riesgo climático, particularmente en zonas de alta biodiversidad y gran riqueza cultural.

En el contexto específico de las Áreas Naturales Protegidas, los guardaparques desempeñan un papel crucial como actores en la implementación directa de medidas de AbE. Su efectividad depende no solo de la disponibilidad de recursos y de formación técnica, sino también de su capacidad para articularse institucionalmente y para incorporar enfoques participativos y sensibles al género. En estudios recientes se ha señalado que el monitoreo comunitario del cambio climático, liderado por personal de campo capacitado, es fundamental para documentar y adaptar las intervenciones de restauración y conservación en tiempo real (García García y Montoya Gandarillas, 2024).

En este documento se amplían y ejemplifican las principales técnicas de la AbE, presentando acciones concretas implementadas en distintos contextos latinoamericanos, con el objetivo de contribuir a su sistematización, réplica y escalamiento en futuras políticas y proyectos de restauración ecológica y adaptación climática.





Dentro de las estrategias de AbE, la reforestación activa con especies nativas se presenta como una herramienta clave para acelerar los procesos de recuperación ecológica. Esta estrategia se define como la plantación deliberada de especies autóctonas, cuidadosamente seleccionadas por su adaptación al ecosistema local y su capacidad para prosperar en las condiciones climáticas presentes y futuras. A diferencia de la regeneración natural, que puede ser un proceso lento y dependiente de factores externos, la reforestación activa introduce una intervención proactiva que busca superar las barreras que impiden la recuperación espontánea del ecosistema.

Al emplear especies nativas, la reforestación activa no solo favorece la resiliencia del ecosistema frente al cambio climático, sino que también contribuye de manera significativa a la restauración de una amplia gama de servicios ecosistémicos. Estos servicios incluyen la captura de carbono, crucial para la mitigación del cambio climático; la regulación hídrica, que contribuye a la prevención de inundaciones y sequías; la provisión de hábitat para la biodiversidad, esencial para la conservación de especies y el mantenimiento de la integridad ecológica; y la mejora de la calidad del suelo, fundamental para la productividad agrícola y la salud del ecosistema en general (Chazdon et al., 2009).

La reforestación activa con especies nativas se erige como una estrategia robusta y multifacética dentro del marco de la AbE. Su enfoque proactivo y su capacidad para restaurar la funcionalidad ecosistémica la convierten en una herramienta esencial para construir ecosistemas resilientes, mitigar los impactos del cambio climático y asegurar la provisión de servicios ecosistémicos vitales para las generaciones presentes y futuras. Futuras investigaciones deberían enfocarse en optimizar las técnicas de plantación, seleccionar las especies nativas más adecuadas para diferentes contextos climáticos y evaluar el impacto a largo plazo de la reforestación activa en la resiliencia ecosistémica y el bienestar humano.

## 1. Fundamentos de la Reforestación Activa con Especies Nativas

La reforestación activa implica la selección y plantación intencional de especies de árboles, arbustos y otras plantas nativas de un área determinada, previamente degradada o deforestada. A diferencia de la regeneración natural, la reforestación activa es una intervención directa diseñada para superar las barreras que impiden la recuperación espontánea. Las especies nativas están naturalmente adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas locales, lo que les confiere una mayor probabilidad de supervivencia y éxito a largo plazo. Además, fomentan la biodiversidad local y el restablecimiento de las interacciones ecológicas.

## 2. Planificación de la Reforestación Activa

### Evaluación del Sitio:

- **Análisis del suelo:** Determinar la fertilidad, textura, pH y disponibilidad de nutrientes.
- **Análisis climático:** Evaluar la precipitación, temperatura, patrones de viento y riesgo de sequía.
- **Vegetación existente:** Identificar las especies nativas remanentes y las especies invasoras presentes.

- **Condiciones hidrológicas:** Evaluar el drenaje, la disponibilidad de agua superficial y subterránea, y el riesgo de inundaciones.
- **Uso de la tierra:** Comprender los patrones de uso de la tierra actuales e históricos y las presiones sobre el ecosistema.

### Selección de Especies:

- **Consultar con expertos:** Buscar el asesoramiento de biólogos, ecólogos y silvicultores locales.
- **Priorizar especies nativas:** Seleccionar especies que sean naturalmente abundantes en el área y que estén bien adaptadas a las condiciones del sitio.
- **Considerar la diversidad genética:** Utilizar semillas y plántulas de diversas fuentes para maximizar la diversidad genética y la resiliencia.
- **Seleccionar especies multifuncionales:** Priorizar especies que proporcionen múltiples servicios ecosistémicos, como la captura de carbono, la regulación hídrica y el hábitat para la vida silvestre.

### Diseño de la Plantación:

- **Densidad de plantación:** Determinar la densidad óptima en función de las especies seleccionadas, las condiciones del sitio y los objetivos de restauración.
- **Espaciamiento entre árboles:** Considerar el crecimiento esperado de las especies y la necesidad de espacio para la luz y el agua.
- **Diseño espacial:** Utilizar patrones de plantación que imiten la estructura natural del ecosistema y promuevan la biodiversidad.

- Zonificación: Agrupar especies con requerimientos similares en zonas específicas dentro del sitio.

### 3. Implementación de la Reforestación Activa

#### Preparación del Sitio:

- Control de especies invasoras: Eliminar o controlar las especies invasoras antes de plantar las especies nativas.
- Preparación del suelo: Aflojar el suelo, agregar materia orgánica y mejorar el drenaje si es necesario.
- Protección contra la erosión: Implementar medidas para prevenir la erosión del suelo, como la siembra de cubiertas vegetales o la construcción de terrazas.

#### Propagación de Plantas:

- Recolección de semillas: Recolectar semillas de fuentes locales en la época adecuada del año.
- Producción de plántulas: Cultivar plántulas en un vivero utilizando técnicas de propagación adecuadas.
- Adquisición de plántulas: Comprar plántulas a viveros locales de buena reputación que se especialicen en especies nativas.

#### Plantación:

- Época de plantación: Plantar durante la temporada de lluvias o cuando las condiciones climáticas sean favorables para la supervivencia de las plántulas.
- Técnica de plantación: Utilizar técnicas de plantación adecuadas para las especies seleccionadas y las condiciones del sitio.

- Manejo postplantación: Regar las plántulas regularmente durante el primer año y controlar las malezas y plagas.

### 4. Monitoreo y Evaluación

- Supervivencia de las plantas: Monitorear la supervivencia de las plántulas a lo largo del tiempo.
- Crecimiento de las plantas: Medir el crecimiento de las plantas en altura y diámetro.
- Cobertura vegetal: Evaluar la cobertura vegetal del sitio y la presencia de especies nativas e invasoras.
- Biodiversidad: Monitorear la diversidad de plantas, animales e insectos en el sitio.
- Servicios ecosistémicos: Evaluar el impacto de la reforestación activa en la captura de carbono, la regulación hídrica y otros servicios ecosistémicos.

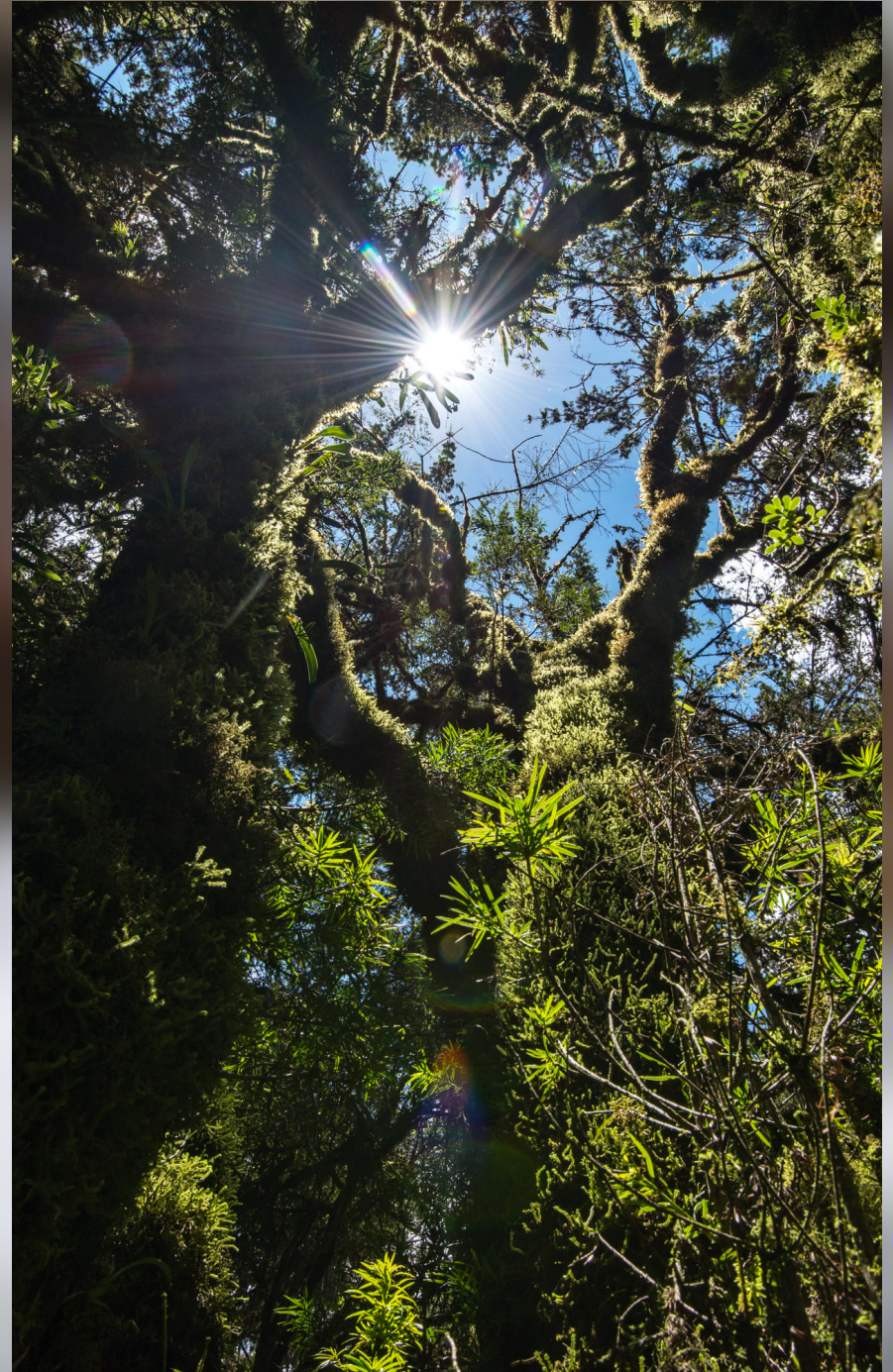
### 5. Consideraciones Adicionales

- Participación comunitaria: Involucrar a las comunidades locales en todas las etapas del proyecto, desde la planificación hasta el monitoreo.
- Capacitación: Proporcionar capacitación a las comunidades locales sobre técnicas de reforestación, manejo de viveros y monitoreo de ecosistemas.
- Mantenimiento a largo plazo: Asegurar el mantenimiento a largo plazo del sitio reforestado, incluyendo el control de malezas, la poda y la protección contra incendios.
- Financiamiento sostenible: Establecer mecanismos de financiamiento sostenibles para garantizar la continuidad del proyecto a largo plazo.

## 6. Recursos y Herramientas

Un ejemplo es el Proyecto J084 “Árboles mexicanos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación” y su relevancia para la Adaptación basada en Ecosistemas.

El proyecto J084 “Árboles mexicanos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación”, financiado por la CONABIO y liderado por el Dr. Carlos Vázquez Yanes, representa un recurso invaluable para la implementación exitosa de la reforestación activa como estrategia central de AbE en México; esta investigación de tres años, que recopiló información sobre 240 especies leñosas nativas (incluyendo un pequeño número de especies naturalizadas), se centró en la selección de especies “multipropósito” que maximizan los beneficios tanto ambientales (como la mejora de la calidad del suelo, la regulación hídrica y la captura de carbono) como socioeconómicos (provisión de madera, frutos, medicinas, etc.), lo que alinea directamente con los principios de la AbE al promover Soluciones basadas en la Naturaleza que fortalecen la resiliencia de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades frente al cambio climático, proporcionando información esencial para la selección de especies adaptadas a las diversas regiones ecológicas del país y contribuyendo al restablecimiento de servicios ecosistémicos clave.





La Regeneración Natural Asistida (RNA) se basa en la capacidad intrínseca de los ecosistemas para recuperarse una vez que se eliminan las presiones que obstaculizan su regeneración. En lugar de plantar activamente la RNA se enfoca en crear las condiciones propicias para que las especies nativas colonicen y se establezcan en el área degradada. Esto implica controlar las perturbaciones, mejorar la calidad del suelo y fomentar la dispersión de semillas. La RNA puede ser una opción más económica y sostenible que la reforestación activa, especialmente en áreas extensas o de difícil acceso.

La RNA implica proteger áreas degradadas de perturbaciones humanas y promover la recuperación natural de la vegetación a través de la eliminación de factores limitantes (Parrotta & Knowles, 1999). Esta técnica es especialmente útil en áreas donde la vegetación nativa aún tiene la capacidad de regenerarse, pero está siendo impedida por factores como el pastoreo excesivo, la tala o los incendios.

La Regeneración Natural Asistida se perfila como un enfoque rentable y eficiente para la restauración de bosques y paisajes a gran escala. La RNA implica la eliminación de barreras a la regeneración natural,

como la deforestación y los incendios, para acelerar la recuperación de la vegetación (Alves et al., 2022; Shono et al., 2020). Este método es adaptable a diversas escalas, desde proyectos locales liderados por agricultores hasta programas estatales de pago por servicios ecosistémicos (Alves et al., 2022).

La efectividad de la RNA se ha demostrado globalmente, con ejemplos de recrecimiento forestal significativo en los Andes Tropicales y el bosque atlántico de Brasil (Shono et al., 2020). El enfoque abarca desde la protección pasiva hasta la gestión activa, dependiendo de los objetivos de restauración y las condiciones del sitio (Lohbeck et al., 2021). Si bien la regeneración natural no asistida es un tema bien estudiado, se necesita más investigación sobre las prácticas y los resultados de la regeneración asistida en diferentes contextos para facilitar su ampliación (Lohbeck et al., 2021). Comprender los impulsores de la regeneración natural a escala regional puede ayudar a priorizar la RNA como estrategia de restauración (Lohbeck et al., 2021).

## 2. Identificación de Áreas

Identificar áreas con potencial de regeneración natural, basadas en la presencia de relictos de vegetación nativa, la capacidad del suelo para sustentar el crecimiento vegetal y la disponibilidad de fuentes de semillas.

- Revisión de datos históricos: Analizar imágenes satelitales, mapas de uso de la tierra y registros históricos para identificar áreas que han sido degradadas pero que aún conservan alguna vegetación nativa.
- Inventario de vegetación: Realizar inventarios de vegetación en campo para evaluar la presencia de especies nativas, la densidad de plántulas y la proximidad de fuentes de semillas (árboles adultos).
- Análisis del suelo: Evaluar las características del suelo (textura, pH, contenido de nutrientes) para determinar su capacidad para sustentar el crecimiento vegetal. Considerar la presencia de compactación, erosión y contaminación.

- Evaluación de factores limitantes: Identificar los factores limitantes que impiden la regeneración natural, como el pastoreo excesivo, la tala, los incendios, las especies invasoras y la erosión.
- Criterios de selección: Establecer criterios claros para seleccionar áreas con alto potencial de RNA. Estos criterios deben incluir la presencia de vegetación nativa, la capacidad del suelo para sustentar el crecimiento vegetal, la proximidad de fuentes de semillas y la factibilidad de controlar los factores limitantes.

## 3. Análisis de Perturbaciones

Identificar y analizar las perturbaciones que impiden la regeneración natural, como el pastoreo excesivo, la tala, los incendios, la erosión, las especies invasoras y la contaminación.

- Plan de control de perturbaciones: Desarrollar un plan para controlar las perturbaciones identificadas, que puede incluir el cercado, la vigilancia, la educación ambiental, el control de incendios, la eliminación de especies invasoras y la estabilización del suelo.
- Identificación de perturbaciones: Identificar todas las perturbaciones que afectan el área de restauración, incluyendo actividades humanas (pastoreo, tala, agricultura, incendios) y factores naturales (sequías, inundaciones, plagas).
- Evaluación de la intensidad: Evaluar la intensidad y la frecuencia de cada perturbación. Por ejemplo, determinar el número de cabezas de ganado que pastan en el área, la frecuencia de los incendios y la extensión de la tala.
- Análisis de las causas: Investigar las causas subyacentes de las perturbaciones. Por ejemplo, determinar si el pastoreo es resultado de la falta de alternativas económicas para las comunidades locales o si los incendios son causados por la quema de residuos agrícolas.

- Priorización de perturbaciones: Priorizar las perturbaciones que tienen el mayor impacto en la regeneración natural. Enfocarse en controlar las perturbaciones más críticas antes de abordar las menos importantes.

#### 4. Implementación de Medidas de Protección

Implementar las medidas de protección necesarias para controlar las perturbaciones y permitir que la vegetación nativa se regenere.

- Movilización de recursos: Movilizar los recursos necesarios para la implementación de las estrategias de control, incluyendo personal, equipo y financiamiento.
- Capacitación del personal: Capacitar al personal encargado de implementar las estrategias de control, asegurando que tengan las habilidades y conocimientos necesarios.
- Ejecución de actividades: Ejecutar las actividades de control de acuerdo con el plan establecido. Esto puede incluir la construcción de cercas, la realización de patrullas de vigilancia, la implementación de programas de educación ambiental, la realización de quemas controladas y la eliminación de especies invasoras.
- Documentación: Documentar todas las actividades realizadas, incluyendo fechas, ubicaciones, personal involucrado y resultados obtenidos.

#### 5. Monitoreo de la Regeneración

Monitorear la regeneración natural de la vegetación, utilizando indicadores como la cobertura vegetal, la diversidad de especies, la altura de las plantas y la presencia de plántulas.

- Establecimiento de indicadores: Establecer indicadores claros y medibles para evaluar la regeneración de la vegetación, la reducción de las perturbaciones y la mejora de los servicios ecosistémicos. Los indicadores pueden incluir:

- a. Cobertura vegetal: Medir la cobertura vegetal de especies nativas.
- b. Densidad de plántulas: Contar el número de plántulas de especies nativas.
- c. Diversidad de especies: Medir la diversidad de especies de plantas y animales.
- d. Tasa de erosión: Medir la tasa de erosión del suelo.
- e. Calidad del agua: Medir la calidad del agua en los cuerpos de agua cercanos.

- Recolección de datos: Recolectar datos sobre los indicadores establecidos de forma regular. Esto puede incluir la realización de inventarios de vegetación, la medición de la tasa de erosión y la toma de muestras de agua.
- Análisis de datos: Analizar los datos recopilados para evaluar la regeneración de la vegetación, la reducción de las perturbaciones y la mejora de los servicios ecosistémicos.
- Ajuste de estrategias: Ajustar las estrategias de manejo según los resultados del monitoreo. Si las estrategias no están funcionando, es necesario identificar las causas del fracaso y modificar el plan de control de perturbaciones.

#### 6. Participación y Colaboración Comunitaria

Ajustar las estrategias de manejo según los resultados del monitoreo. En algunos casos, puede ser necesario complementar la RNA con la plantación de especies nativas. La participación de las comunidades locales es esencial para el éxito a largo plazo de la RNA. Las comunidades deben ser involucradas en todas las etapas del proceso, desde la planificación hasta el monitoreo y la evaluación.

- Consulta: Consultar a las comunidades locales para comprender sus necesidades, inquietudes y conocimientos sobre el área de restauración.
- Participación en la planificación: Involucrar a las comunidades locales en la planificación de las estrategias de RNA, asegurando que se tengan en cuenta sus necesidades e intereses.
- Participación en la implementación: Involucrar a las comunidades locales en la implementación de las estrategias de RNA, brindando oportunidades de empleo y capacitación.
- Participación en el monitoreo: Involucrar a las comunidades locales en el monitoreo de la regeneración, recopilando datos y evaluando los resultados.
- Distribución de beneficios: Distribuir los beneficios de la restauración de manera equitativa entre las comunidades locales, por ejemplo, mediante el pago por servicios ecosistémicos o la promoción de actividades económicas sostenibles.
- Participación y colaboración comunitaria.

### 7. Ejemplo de éxito: Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México

En la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México, la Regeneración Natural Asistida (RNA) ha demostrado ser una estrategia eficaz para recuperar el bosque mesófilo de montaña en laderas erosionadas sin recurrir a la plantación directa. Esta técnica consiste en proteger áreas degradadas de perturbaciones como el pastoreo, los incendios y la tala clandestina, permitiendo que la vegetación se recupere espontáneamente gracias a bancos de semillas presentes en el suelo y la cercanía a remanentes forestales (Shono et al., 2007).

La implementación de RNA en Manantlán inició con la selección de sitios con potencial regenerativo y la instalación de cercas para excluir al ganado. Posteriormente, se establecieron brigadas comunitarias para el control de incendios, la erradicación de especies invasoras y el monitoreo participativo. Estas acciones favorecieron la regeneración de especies clave como *Quercus* y *Pinus*, además de familias como Lauraceae y Rubiaceae, lo que permitió una recuperación funcional del ecosistema (Zárate-Cuevas, 2023).





La restauración del suelo es crucial para la recuperación del ecosistema y la agricultura sostenible. Se han explorado varias técnicas para abordar la degradación del suelo. El recubrimiento de semillas con adherentes como melaza y goma arábiga puede ayudar a restaurar suelos degradados al facilitar la germinación de las semillas (Romo-Campos y Valle, 2019). En los sistemas agrícolas, los monocultivos y las prácticas inadecuadas han llevado a la erosión y el deterioro del suelo, lo que requiere esfuerzos de restauración (Hernández y Piñeiro, 2008).

Los vertederos de residuos urbanos presentan desafíos complejos para la revegetación y la fitorremediación, que requieren enfoques personalizados para cada sitio (Piñeiro y Hernández, 2008). La creación de islas de fertilidad orgánica utilizando la técnica FBO ha demostrado ser prometedora en la restauración de suelos degradados para el cultivo de banano. Este método mejora la calidad del suelo al mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas a través de la adición de materia orgánica, estimulando la biodiversidad del suelo y promoviendo procesos beneficiosos como la agregación y la retención de agua (García, 2020).

## Enmiendas Orgánicas y Biochar

El biocarbón es una forma de enmienda orgánica que ha mostrado efectos prometedores en la calidad del suelo y la productividad de los cultivos. Los estudios han demostrado su potencial para aumentar la biomasa de las raíces, mejorar las poblaciones de hongos y mejorar el crecimiento general de las plantas en varios cultivos como el sorgo, la cebada y el maíz (María Videgain et al., 2019; Daniel Paco Abenza, 2012; L. Gómez et al., 2016).

Se ha descubierto que la aplicación de biocarbón aumenta los nutrientes del suelo como P, Ca, Mg y K, al tiempo que reduce los niveles de  $Al^{3+}$  (L. Gómez et al., 2016). Diferentes métodos de producción y temperaturas pueden afectar el rendimiento del biocarbón, y la pirólisis lenta a  $400\text{ }^{\circ}C$  muestra beneficios significativos (María Videgain et al., 2019; Daniel Paco Abenza, 2012). Además, el biocarbón enriquecido con microorganismos ha demostrado potencial para mejorar suelos degradados, con resultados óptimos observados utilizando biocarbón sintetizado a  $450\text{ }^{\circ}C$  con un tiempo de retención de 15 minutos y una proporción de biocarbón a suelo de 25:75 (A. Ramírez y Gabriela Brigitte, 2020). Estos hallazgos sugieren que el biocarbón puede ser una herramienta eficaz para mejorar la fertilidad del suelo y la producción agrícola.

### 1. Análisis Detallado del Suelo

Un análisis exhaustivo del suelo es fundamental para determinar las deficiencias específicas que se deben corregir con las enmiendas orgánicas o el biochar. Este análisis debe incluir parámetros físicos, químicos y biológicos.

- Muestreo estratificado: Tomar muestras de suelo de diferentes profundidades y ubicaciones representativas del área de estudio. Utilizar un diseño de muestreo estratificado para asegurar que las muestras sean representativas de la variabilidad del suelo.
- Análisis físico: Determinar la textura del suelo (proporción de arena, limo y arcilla), la densidad aparente, la porosidad y la capacidad de retención de agua.

- Análisis químico: Medir el pH, la conductividad eléctrica, el contenido de materia orgánica, los nutrientes disponibles (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC).
- Análisis biológico: Evaluar la actividad microbiana del suelo, incluyendo la biomasa microbiana, la respiración del suelo y la diversidad de microorganismos beneficiosos (hongos micorrízicos, bacterias fijadoras de nitrógeno).
- Interpretación de resultados: Interpretar los resultados del análisis del suelo para identificar las deficiencias que se deben corregir con las enmiendas orgánicas o el biochar. Por ejemplo, si el suelo tiene un pH bajo, se puede utilizar una enmienda alcalina para aumentarlo. Si el suelo es deficiente en nutrientes, se puede utilizar una enmienda rica en nutrientes.

### 2. Selección de la Enmienda Orgánica o Biochar Apropriados

La elección de la enmienda depende de las características del suelo, los objetivos de la restauración y la disponibilidad de materiales. Se debe considerar el tipo de materia orgánica, la relación C/N, el contenido de nutrientes y la estabilidad del material.

- Evaluación de opciones: Evaluar las diferentes opciones de enmiendas orgánicas y biochar disponibles, considerando sus características, costo y disponibilidad.
- Enmiendas orgánicas: Compost, estiércol, abonos verdes, residuos de cultivos, vermicompost.
- Biochar: Producido a partir de diferentes materiales (madera, residuos agrícolas, estiércol) y a diferentes temperaturas.
- Consideración de la relación C/N: Evaluar la relación carbono/nitrógeno (C/N) de la enmienda. Las enmiendas con una relación C/N alta (mayor de 30) pueden inmovilizar

el nitrógeno del suelo, mientras que las enmiendas con una relación C/N baja (menor de 20) pueden liberar nitrógeno al suelo.

- Consideración del contenido de nutrientes: Evaluar el contenido de nutrientes de la enmienda. Las enmiendas ricas en nutrientes pueden ser útiles para corregir deficiencias nutricionales del suelo.
- Consideración de la estabilidad: Evaluar la estabilidad de la enmienda. Las enmiendas estables (como el biochar) se descomponen lentamente en el suelo, proporcionando beneficios a largo plazo. Las enmiendas inestables (como el compost) se descomponen rápidamente, liberando nutrientes al suelo, pero teniendo un efecto menos duradero.
- Selección basada en objetivos: Seleccionar la enmienda que mejor se adapte a los objetivos de la restauración. Por ejemplo, si el objetivo es mejorar la estructura del suelo, se puede utilizar una enmienda rica en materia orgánica. Si el objetivo es aumentar la disponibilidad de nutrientes, se puede utilizar una enmienda rica en nutrientes.

### 3. Preparación Adecuada de la Enmienda

La preparación de la enmienda, especialmente el compost o el biochar, es crucial para maximizar sus beneficios. En el caso del compost, un proceso de compostaje adecuado asegura la descomposición de la materia orgánica y la eliminación de patógenos. En el caso del biochar, el proceso de pirólisis y la posterior activación pueden influir en sus propiedades.

- Compostaje: Si se utiliza compost, asegurar que el proceso de compostaje se realice correctamente, siguiendo las recomendaciones para la mezcla de materiales, la aireación y la humedad.

- Vermicompostaje: Si se utiliza vermicompost, asegurar que las lombrices tengan un ambiente adecuado para prosperar y que se les proporcione una dieta equilibrada.
- Producción de biochar: Si se utiliza biochar, controlar el proceso de pirólisis para asegurar que se produzca un material de alta calidad. Considerar el tipo de biomasa, la temperatura de pirólisis y el tiempo de residencia. La pirólisis lenta 400 a 500°C suele ser óptima.
- Activación del biochar: Considerar la activación del biochar mediante la adición de nutrientes o microorganismos. La activación puede aumentar la capacidad del biochar para retener nutrientes y promover el crecimiento de las plantas.

### 4. Dosificación y Método de Aplicación Precisos

La cantidad de enmienda que se aplica al suelo es un factor crítico para su efectividad. La aplicación excesiva puede tener efectos negativos, como la salinización del suelo o la inmovilización de nutrientes. El método de aplicación también es importante para asegurar que la enmienda se distribuya uniformemente en el suelo y que esté en contacto con las raíces de las plantas.

- Cálculo de la dosis: Calcular la dosis de enmienda que se debe aplicar al suelo, teniendo en cuenta las características del suelo, los objetivos de la restauración y las recomendaciones para cada tipo de enmienda.
- Aplicación uniforme: Aplicar la enmienda de manera uniforme sobre la superficie del suelo. Se puede utilizar un esparcidor de abono o una pala para distribuir la enmienda.
- Incorporación al suelo: Incorporar la enmienda al suelo mediante labranza mínima o siembra directa. Evitar la labranza excesiva, ya que puede dañar la estructura del suelo y liberar carbono a la atmósfera.

## 5. Incorporación Eficaz al Suelo

La forma en que se incorpora la enmienda al suelo puede influir en su efectividad. La labranza mínima o la siembra directa son preferibles para minimizar la alteración del suelo y promover la conservación de la estructura del suelo.

- Labranza mínima: Utilizar técnicas de labranza mínima para incorporar la enmienda al suelo. Esto puede incluir el uso de un arado de cincel o un cultivador.
- Siembra directa: Sembrar los cultivos directamente en el suelo sin labranza previa. Esto ayuda a mantener la estructura del suelo y a reducir la erosión.
- Mulching: Aplicar una capa de mulching sobre la superficie del suelo después de la siembra. El mulching ayuda a conservar la humedad del suelo, a suprimir las malezas y a proteger el suelo de la erosión.

## 6. Monitoreo Continuo y Ajustes Adaptativos

El monitoreo regular de las propiedades del suelo y el crecimiento de las plantas es esencial para evaluar la efectividad de las enmiendas y para ajustar las prácticas de manejo según sea necesario.

- Medición de propiedades del suelo: Medir las propiedades del suelo (pH, materia orgánica, nutrientes, actividad microbiana) de forma regular para evaluar el impacto de la enmienda.
- Evaluación del crecimiento de las plantas: Evaluar el crecimiento de las plantas, incluyendo la altura, el diámetro, el número de hojas y la biomasa.
- Identificación de problemas: Identificar cualquier problema que pueda surgir, como la salinización del suelo, la inmovilización de nutrientes o el crecimiento de malezas.

- Ajuste de prácticas: Ajustar las prácticas de manejo según sea necesario para corregir cualquier problema y maximizar los beneficios de la enmienda.

## 7. Ejemplo práctico: Reserva de la Biosfera Montes Azules (Chiapas, México)

En la Reserva de la Biosfera Montes Azules (Chiapas, México), un área de alta biodiversidad dominada por selva tropical húmeda (Reserva de la Biosfera Montes Azules, s. f.), se ha impulsado el uso de biochar producido en la comunidad a partir de residuos agrícolas (cáscaras, bagazo, ramas secas) como estrategia de restauración de suelos degradados bajo sistemas agroforestales. El biochar, obtenido mediante pirolisis de biomasa local, actúa como enmienda del suelo al mejorar su estructura, retención de agua, capacidad de intercambio catiónico y fertilidad general, además de servir como sumidero de carbono de larga duración (Escalante Rebolledo et al., 2016; Li et al., 2020).

La adopción de esta práctica comunitaria ha generado beneficios múltiples:

- Físicoquímicos: Aumento de pH, mejora de la porosidad, mayor retención hídrica, y reducción de lixiviación de nutrientes (Escalante Rebolledo et al., 2016).
- Biológicos: Fortalecimiento de la actividad y diversidad microbiana cuando se aplica en dosis óptimas, generalmente  $\leq 40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ; dosis mayores pueden afectar negativamente por exceso de sales o compuestos tóxicos (Joseph et al., 2021; Pinzón Núñez et al., 2022).

La producción artesanal de biochar con residuos agrícolas favorece la economía circular local y promueve la creación de empleos rurales, además de reducir la contaminación por quema directa de biomasa (Escalante Rebolledo et al., 2016; Chiappero et al., 2020). Estudios basados en sitios similares en el sureste mexicano han demostrado mejoras en productividad de cultivos de maíz y frijol al incorporarlo en sistemas agroforestales (INIFAP, 2024).



## Agricultura de Conservación y Sistemas Agroecológicos

La agricultura de conservación y los sistemas agroecológicos son enfoques que buscan la sostenibilidad agrícola mediante la aplicación de principios ecológicos. Estos sistemas promueven la conservación de la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la productividad a diferentes escalas, desde fincas hasta paisajes (Álvaro Noguera-Talavera et al., 2019). Se basan en prácticas tradicionales y modernas que integran aspectos ecológicos, sociales y económicos (Luis Alfredo Villacis Aldás et al., 2024).

La biodiversidad es fundamental para la agricultura sostenible, proporcionando genes y servicios ecológicos esenciales (S. Sarandón, 2020). Los sistemas agroecológicos requieren niveles adecuados de biodiversidad funcional para fortalecer procesos como la regulación biótica y el ciclado de nutrientes. La agricultura verde se fundamenta en seis principios agroecológicos que permiten diseñar sistemas agrícolas biodiversos, resilientes y productivos, capaces de enfrentar desafíos futuros como el cambio climático y la degradación ambiental (M. Altieri et al., 2012).

### 1. Evaluación Integral del Contexto

- Análisis climático: Recopilar datos de temperatura, precipitación, humedad y patrones de viento.
- Análisis del suelo: Evaluar la textura, el pH, la materia orgánica, los nutrientes y la capacidad de retención de agua del suelo.
- Inventario de biodiversidad: Identificar las especies de plantas, animales e insectos presentes en el área, así como los servicios ecosistémicos que proporcionan.
- Encuestas comunitarias: Realizar encuestas y entrevistas a los agricultores locales para comprender sus prácticas agrícolas, sus conocimientos tradicionales, sus necesidades y sus limitaciones.

- Evaluación de recursos: Evaluar la disponibilidad de agua, energía, semillas, fertilizantes y otros recursos necesarios para la producción agrícola.
- Identificación de desafíos: Identificar los desafíos que enfrentan los agricultores, como la degradación del suelo, la escasez de agua, las plagas, las enfermedades y la falta de acceso a los mercados.

## 2. Diseño del Sistema Agroecológico

El diseño del sistema debe basarse en los principios agroecológicos, como la diversificación, la integración, la eficiencia, la resiliencia y la sinergia. Se deben seleccionar prácticas que sean apropiadas para el contexto local y que maximicen los beneficios ambientales, sociales y económicos.

- Diversificación: Seleccionar una variedad de cultivos, animales y árboles que se complementen entre sí y que proporcionen una diversidad de productos y servicios.
- Integración: Integrar diferentes componentes del sistema, como cultivos, animales, árboles y microorganismos, para crear un sistema funcional y equilibrado.
- Eficiencia: Optimizar el uso de los recursos, como el agua, la energía y los nutrientes, para reducir los costos y minimizar el impacto ambiental.
- Resiliencia: Diseñar un sistema que sea resistente a las perturbaciones, como el cambio climático, las plagas y las enfermedades.
- Sinergia: Promover las interacciones positivas entre los diferentes componentes del sistema, como la fijación de nitrógeno por las leguminosas, el control biológico de plagas por los insectos beneficiosos y la polinización por las abejas.

## 3. Implementación de Prácticas de Conservación del Suelo

La salud del suelo es fundamental para la sostenibilidad de la agricultura. Se deben implementar prácticas que conserven el suelo, mejoren su fertilidad y reduzcan la erosión.

- No labranza o labranza mínima: Reducir la alteración del suelo mediante la siembra directa o la labranza mínima.
- Cobertura del suelo: Mantener el suelo cubierto con residuos de cultivos, abonos verdes o cultivos de cobertura para protegerlo de la erosión y mejorar su fertilidad.
- Rotación de cultivos: Rotar los cultivos para mejorar la estructura del suelo, reducir las plagas y enfermedades y aumentar la disponibilidad de nutrientes.
- Enmiendas orgánicas: Aplicar enmiendas orgánicas, como compost, estiércol o biochar, para mejorar la fertilidad del suelo y aumentar la actividad microbiana.
- Control de la erosión: Implementar prácticas de control de la erosión, como terrazas, curvas de nivel y barreras vivas.

## 4. Manejo de la Biodiversidad

La biodiversidad es esencial para la salud y la resiliencia de los sistemas agroecológicos. Se deben implementar prácticas que promuevan la biodiversidad funcional y que proporcionen hábitat para las especies beneficiosas.

- Diversificación de cultivos: Sembrar una variedad de cultivos para proporcionar alimento y hábitat para diferentes especies.
- Conservación de hábitats naturales: Conservar los hábitats naturales cercanos a los campos agrícolas, como bosques, humedales y pastizales, para proporcionar refugio y alimento para las especies beneficiosas.

- Siembra de franjas florales: Sembrar franjas florales con plantas que atraigan a los polinizadores y a los insectos beneficiosos.
- Control biológico de plagas: Utilizar el control biológico de plagas para reducir el uso de pesticidas sintéticos.
- Reducción de pesticidas: Minimizar el uso de pesticidas sintéticos, que pueden dañar a las especies beneficiosas.

## 5. Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades

El manejo integrado de plagas (MIP) es un enfoque que utiliza una variedad de tácticas para controlar las plagas y enfermedades, minimizando el uso de pesticidas sintéticos.

- Monitoreo: Monitorear regularmente los cultivos para detectar la presencia de plagas y enfermedades.
- Identificación: Identificar correctamente las plagas y enfermedades para seleccionar las tácticas de control más efectivas.
- Control biológico: Utilizar el control biológico de plagas para reducir la población de plagas.
- Prácticas culturales: Implementar prácticas culturales que reduzcan la incidencia de plagas y enfermedades, como la rotación de cultivos, la siembra de variedades resistentes y la eliminación de plantas enfermas.
- Uso selectivo de pesticidas: Utilizar pesticidas sintéticos solo cuando sea necesario y seleccionar los productos que sean menos dañinos para el medio ambiente y la salud humana.

## 6. Gestión del Agua

El agua es un recurso esencial para la agricultura. Se deben implementar prácticas que mejoren la eficiencia en el uso del agua y que protejan la calidad del agua.

- Riego eficiente: Utilizar sistemas de riego eficientes, como el riego por goteo o el riego por aspersión, para reducir el consumo de agua.
- Captación de agua de lluvia: Captar el agua de lluvia para utilizarla en el riego.
- Conservación de la humedad del suelo: Implementar prácticas que conserven la humedad del suelo, como el mulching y la siembra directa.
- Protección de fuentes de agua: Proteger las fuentes de agua de la contaminación.

## 7. Integración de Conocimientos Tradicionales

Los conocimientos tradicionales de los agricultores locales son un recurso valioso para el diseño y la gestión de sistemas agroecológicos. Se deben integrar estos conocimientos en todas las etapas del proceso.

- Consulta: Consultar a los agricultores locales para comprender sus conocimientos tradicionales sobre el manejo de los recursos naturales, el cultivo de los alimentos y el control de las plagas y enfermedades.
- Experimentación: Experimentar con prácticas tradicionales para evaluar su efectividad y adaptarlas a las condiciones locales.
- Intercambio de conocimientos: Promover el intercambio de conocimientos entre los agricultores locales y los expertos en agroecología.

## 8. Monitoreo y Evaluación Continua

El monitoreo y la evaluación continua son esenciales para asegurar que el sistema agroecológico esté funcionando correctamente y para realizar los ajustes necesarios.

- Establecimiento de indicadores: Establecer indicadores para evaluar el desempeño del sistema, como la productividad, la biodiversidad, la calidad del suelo, el consumo de agua, el uso de pesticidas y los ingresos de los agricultores.
- Recolección de datos: Recolectar datos sobre los indicadores establecidos de forma regular.
- Análisis de datos: Analizar los datos recopilados para evaluar el desempeño del sistema e identificar las áreas que necesitan mejoras.
- Ajuste de prácticas: Ajustar las prácticas de manejo según los resultados del monitoreo y la evaluación.

## 9. Ejemplo práctico: Reserva Comunal Amarakaeri (Madre de Dios, Perú)

En la Reserva Comunal Amarakaeri (Madre de Dios, Perú), comunidades indígenas han implementado sistemas agroforestales que combinan cacao (*Theobroma cacao*) con especies maderables y frutales como *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Inga* spp. y cítricos. Esta estrategia responde a un enfoque de agricultura de conservación y sistemas agroecológicos, al integrar principios ecológicos para recuperar suelos, conservar biodiversidad y garantizar productividad sostenible a nivel de finca y paisaje (Álvaro Noguera-Talavera et al., 2019).

Estos sistemas diversificados imitan la estructura y funciones del bosque amazónico, fortaleciendo servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, la captura de carbono y el control biológico de plagas (Altieri et al., 2012). La diversidad arbórea no solo genera

sombra para el cacao, sino que aporta resiliencia ante eventos climáticos extremos, aumenta la fertilidad edáfica y mejora la calidad del microclima local, lo cual es esencial para enfrentar la degradación ambiental y el cambio climático (Villacís Aldás et al., 2024).

La implementación se basa en conocimientos tradicionales indígenas combinados con técnicas modernas de manejo, alineándose con los seis principios agroecológicos propuestos por Altieri: reciclaje de nutrientes, sinergias ecológicas, optimización de la biodiversidad funcional, conservación del suelo, manejo integrado de plagas y resiliencia socioecológica. Estos sistemas reflejan cómo la biodiversidad funcional es esencial para procesos como el ciclado de nutrientes y la regulación biótica (Sarandón, 2020).





La gestión integrada de cuencas hidrográficas se ha convertido en un enfoque crucial para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la conservación del medio ambiente. Proporciona un marco para coordinar políticas sectoriales e integrar a las partes interesadas para abordar cuestiones ambientales complejas de forma holística (Cotler, 2004).

Este enfoque busca equilibrar la gestión de los recursos naturales, el desarrollo económico y la preservación de los ecosistemas (Casimiro Maldonado Santana et al., 2023). Los estudios destacan la importancia de los marcos legales, la coordinación institucional y la participación local en la gestión de cuencas hidrográficas, como se ejemplifica en la cuenca del río Gualjaina en Argentina (Vicente Ferrer Alessi y Torrero, 2015). Sin embargo, persisten desafíos en la implementación de la gestión integrada de cuencas hidrográficas, incluyendo la superación de las estructuras centralizadas de toma de decisiones y los enfoques tecnocráticos (Cotler Ávalos y López, 2008).

Investigaciones recientes enfatizan la necesidad de un nuevo paradigma en la gobernanza del agua que considere las cuencas hidrográficas como proveedoras de servicios ecosistémicos e incorpore diversas perspectivas de las partes interesadas para

garantizar la sostenibilidad a largo plazo y la protección de los recursos (Casimiro Maldonado Santana et al., 2023).

## Rehabilitación de Manglares y Estuarios

Los humedales costeros, especialmente los manglares y estuarios, son ecosistemas de vital importancia que proporcionan una amplia gama de servicios ecosistémicos, incluyendo la protección contra inundaciones y tormentas, la provisión de hábitats para diversas especies, la regulación de la calidad del agua y el secuestro de carbono (Barbier et al., 2011; Costanza et al., 2008). Sin embargo, estos ecosistemas están altamente amenazados por actividades humanas como la deforestación, la urbanización, la agricultura, la contaminación y la alteración de los patrones hidrológicos (Alongi, 2002; Spalding et al., 2014).

La rehabilitación de manglares y estuarios, como una técnica de Adaptación basada en Ecosistemas, busca restaurar la estructura y función de estos ecosistemas degradados, aumentando su resiliencia frente a los impactos del cambio climático y mejorando la capacidad de las comunidades locales para adaptarse a estos cambios (Vignola et al., 2009).

Esta rehabilitación implica la eliminación de barreras artificiales, el restablecimiento de la hidrología natural, la revegetación con especies nativas y la gestión de las amenazas existentes, con el objetivo de recuperar los servicios ecosistémicos perdidos y fortalecer la capacidad adaptativa del ecosistema y las comunidades asociadas (Gedan et al., 2011).

### 1. Evaluación y Diagnóstico del Sitio

- Investigación preliminar: Recopilar información existente sobre el área, incluyendo datos históricos, mapas, estudios ambientales y planes de gestión.

- Evaluación ecológica: Realizar un inventario de la flora y fauna presentes, identificando especies clave y especies invasoras. Evaluar la salud del ecosistema, incluyendo la densidad de manglares, la cobertura vegetal y la biodiversidad.
- Evaluación hidrológica: Analizar los patrones de flujo de agua, incluyendo la salinidad, las mareas, las corrientes y la descarga de agua dulce. Identifica las alteraciones hidrológicas causadas por actividades humanas, como la construcción de diques o la alteración de canales.
- Evaluación socioeconómica: Identificar las comunidades locales que dependen del ecosistema y evalúa sus necesidades y percepciones sobre la restauración. Considera los usos tradicionales del ecosistema, como la pesca, la recolección de leña y el turismo.
- Identificación de causas de degradación: Determinar las causas principales de la degradación del ecosistema, como la deforestación, la contaminación, la erosión o la alteración de la hidrología.

### 2. Planificación de la Restauración

- Definición de objetivos: Establecer objetivos claros y medibles para la restauración, como el aumento de la cobertura de manglares, la mejora de la calidad del agua o el aumento de la biodiversidad.
- Selección de técnicas de restauración: Elegir las técnicas de restauración más adecuadas para el sitio, considerando las causas de la degradación, las características del ecosistema y los recursos disponibles. Las técnicas pueden incluir la eliminación de diques, el restablecimiento de la hidrología, la revegetación con especies nativas y la gestión de especies invasoras.

- **Diseño del proyecto:** Diseñar un plan detallado para la restauración, incluyendo la ubicación de las áreas de restauración, la selección de especies para la revegetación, el diseño de los canales de agua y el cronograma de actividades.
- **Participación comunitaria:** Involucrar a las comunidades locales en la planificación de la restauración, asegurando que sus necesidades y percepciones sean consideradas. Realizar talleres y reuniones para informar a la comunidad sobre el proyecto y obtener su apoyo.
- **Obtención de permisos:** Obtener los permisos necesarios de las autoridades ambientales antes de iniciar la restauración.

### 3. Implementación de la Restauración

- **Preparación del sitio:** Eliminar los obstáculos que impiden la restauración, como la basura, los escombros y la vegetación no deseada. Preparar el suelo para la revegetación, mejorando su calidad y fertilidad.
- **Restablecimiento de la hidrología:** Eliminar los diques y otras barreras que impiden el flujo natural del agua. Restablecer los canales de agua y las conexiones entre el manglar y el estuario.
- **Revegetación:** Plantar especies de manglares nativas en las áreas degradadas. Utilizar técnicas de revegetación adecuadas para el sitio, como la siembra directa de semillas o el trasplante de plántulas.
- **Gestión de especies invasoras:** Eliminar las especies invasoras que compiten con los manglares nativos. Utilizar métodos de control adecuados para cada especie, como la eliminación manual, el control biológico o el uso de herbicidas selectivos.

- **Protección del sitio:** Implementar medidas para proteger el sitio de la degradación futura, como la construcción de barreras contra la erosión, la instalación de señalización y la promoción de prácticas sostenibles entre las comunidades locales.

### 4. Monitoreo y Evaluación

- **Establecimiento de indicadores:** Definir indicadores para medir el éxito de la restauración, como la cobertura de manglares, la calidad del agua, la biodiversidad y la satisfacción de la comunidad.
- **Recopilación de datos:** Recopilar datos sobre los indicadores a intervalos regulares, utilizando métodos de muestreo estandarizados.
- **Análisis de datos:** Analizar los datos para determinar si la restauración está cumpliendo con los objetivos establecidos.
- **Ajuste del plan:** Ajustar el plan de restauración según sea necesario, en función de los resultados del monitoreo y la evaluación.
- **Comunicación de resultados:** Comunicar los resultados de la restauración a las comunidades locales, las autoridades ambientales y otras partes interesadas.

### 5. Ejemplo práctico: Restauración de Canales en la Reserva de la Biósfera Sian Ka'an (México)

En la Reserva de la Biósfera Sian Ka'an, ubicada en la costa caribeña de México, se ha llevado a cabo un proyecto de restauración de humedales que incluyó la rehabilitación de canales naturales en áreas de manglar degradado. Históricamente, estos canales fueron alterados o bloqueados para la construcción de caminos y otras infraestructuras, lo que interrumpió el flujo de agua y causó la degradación del manglar.

El proyecto consistió en la reapertura y limpieza de estos canales, permitiendo que el agua salada fluya nuevamente hacia las áreas de manglar degradadas. Esto ha mejorado la hidrología del área, facilitando la regeneración natural de los manglares y la recuperación de hábitats importantes para aves acuáticas, peces y otros organismos. El éxito de este proyecto se ha atribuido a la combinación de técnicas de restauración pasivas (permitir que la naturaleza se recupere por sí sola una vez que se eliminan las barreras) y la participación de las comunidades locales en el proceso de restauración (Castillo et al., 2017). Se ha observado un aumento en la cobertura de manglar, la diversidad de especies y la salud general del ecosistema.



## Gestión del Paisaje y Conectividad Ecológica

La gestión del paisaje y la conectividad ecológica son estrategias fundamentales para la conservación de la biodiversidad y la adaptación al cambio climático, especialmente en áreas naturales protegidas que se encuentran fragmentadas o amenazadas por actividades humanas (Bennett, 2003; Hilty et al., 2006). Estas estrategias reconocen que los ecosistemas no son islas, sino que forman parte de un paisaje más amplio donde la conectividad es esencial para el movimiento de especies, el flujo de genes y la prestación de servicios ecosistémicos (Taylor et al., 1993).

La gestión del paisaje implica la planificación y el manejo integrado de los diferentes elementos del paisaje (bosques, cultivos, pastizales, zonas urbanas) para maximizar los beneficios ecológicos y socioeconómicos.

La conectividad ecológica se refiere al grado en que el paisaje permite el movimiento de organismos entre diferentes parches de hábitat (Crooks & Sanjayan, 2006). A través del diseño de corredores biológicos y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles, como la milpa biodiversa, es posible mejorar la conectividad del paisaje, aumentar la resiliencia de los ecosistemas y fortalecer la capacidad de las comunidades locales para adaptarse al cambio climático (Lindenmayer & Fischer, 2006).

## Diseño de Corredores Biológicos Multifuncionales

Los corredores biológicos multifuncionales son franjas de vegetación natural o seminatural que conectan hábitats fragmentados para permitir el movimiento de especies, el flujo génico y la provisión de servicios ecosistémicos, como la regulación hídrica, la polinización y el secuestro de carbono. Este diseño integra funciones ecológicas, sociales y productivas, favoreciendo la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) y el manejo sostenible del territorio (Hilty et al., 2020; Saura et al., 2021).

### 1. Identificación de Áreas Clave

- Mapeo de hábitats: Identificar y mapear los fragmentos de bosque, ecosistemas clave y áreas naturales protegidas que se busca conectar.
- Análisis de distribución de especies: Determinar las especies objetivo para la conectividad, considerando especies indicadoras, especies amenazadas y especies con requerimientos de hábitat específicos. Analizar su distribución y patrones de movimiento.
- Identificación de cuellos de botella: Identificar los cuellos de botella o barreras que impiden el movimiento de las especies entre los fragmentos de hábitat, como carreteras, áreas urbanas, o terrenos agrícolas intensivos.

### 2. Diseño del Corredor

- Selección de trazado: Seleccionar el trazado óptimo para el corredor, considerando la distancia entre los fragmentos de hábitat, la topografía, la cobertura vegetal existente y la presencia de barreras. Priorizar la conexión de áreas de alta calidad de hábitat.
- Diseño multifuncional: Diseñar el corredor para que cumpla múltiples funciones, incluyendo la conservación de la biodiversidad, la prestación de servicios ecosistémicos y el apoyo a las actividades humanas sostenibles.

- Integra elementos como:
  - Cercos vivos: Plantaciones de árboles y arbustos a lo largo de cercas para proporcionar hábitat y conectividad.
  - Franjas riparias: Vegetación a lo largo de ríos y arroyos para proteger la calidad del agua y proporcionar corredores para la vida silvestre.
  - Cultivos de sombra: Sistemas agrícolas que incorporan árboles para proporcionar sombra y hábitat para las especies.
- Ancho del corredor: Determinar el ancho mínimo del corredor necesario para garantizar el movimiento de las especies objetivo. Considerar la ecología de las especies, la calidad del hábitat y la presencia de perturbaciones externas.

### 3. Implementación del Corredor

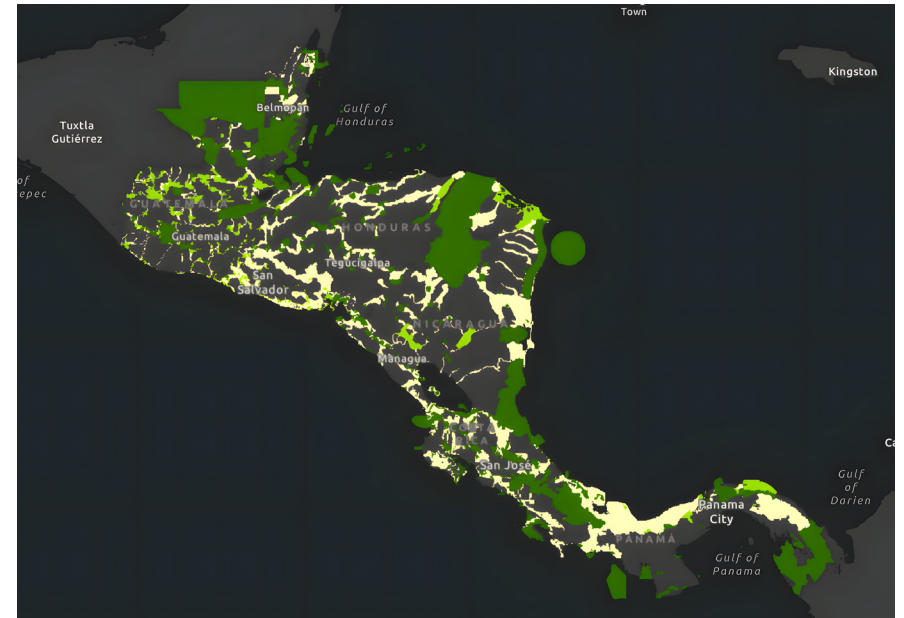
- Restauración de hábitat: Restaurar la vegetación nativa en las áreas degradadas del corredor, utilizando especies locales adaptadas a las condiciones del sitio.
- Manejo de la vegetación: Manejar la vegetación del corredor para promover la diversidad de especies y la estructura del hábitat. Controlar las especies invasoras y realizar podas y raleos selectivos.
- Construcción de pasos de fauna: Construir pasos de fauna (pasos superiores, pasos inferiores, túneles) para facilitar el cruce de carreteras y otras barreras.
- Acuerdos con propietarios: Establecer acuerdos con los propietarios de la tierra para asegurar la conservación y el manejo sostenible del corredor. Ofrecer incentivos económicos y técnicos para promover la participación.

#### 4. Monitoreo y Evaluación

- Monitoreo de especies: Monitorear la presencia y el movimiento de las especies objetivo en el corredor para evaluar su efectividad. Utilizar técnicas de trapeo, cámaras trampa, telemetría y análisis genéticos.
- Monitoreo de hábitat: Monitorear la calidad del hábitat en el corredor, incluyendo la cobertura vegetal, la estructura del hábitat y la presencia de perturbaciones.
- Evaluación socioeconómica: Evaluar los beneficios socioeconómicos del corredor, incluyendo el aumento de la productividad agrícola, la mejora de la calidad del agua y el desarrollo del ecoturismo.
- Ajuste de prácticas: Ajustar las prácticas de manejo del corredor según sea necesario, en función de los resultados del monitoreo y la evaluación.

#### 5. Ejemplo práctico: El Corredor Biológico Mesoamericano

El Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) es una iniciativa regional que busca conectar las áreas protegidas de México y Centroamérica a través de una red de corredores biológicos multifuncionales. El CBM ha implementado técnicas de conectividad entre ANP, combinando agricultura sostenible y conservación. Por ejemplo, en la región de la Selva Maya, el CBM promueve la implementación de sistemas agroforestales y cercos vivos para conectar los fragmentos de bosque y facilitar el movimiento de especies como el jaguar y el tapir. Además, el CBM apoya la diversificación de cultivos y la adopción de prácticas agrícolas sostenibles para reducir la presión sobre los recursos naturales y mejorar la calidad de vida de las comunidades locales (Miller et al., 2001). El CBM ha demostrado ser una estrategia efectiva para la conservación de la biodiversidad y la promoción del desarrollo sostenible en la región.



#### Implementación de Milpas Biodiversas (Kool)

La milpa maya, un sistema tradicional de policultivo mesoamericano, integra maíz, frijol, calabaza y varios otros cultivos (Fonteyne et al., 2023). Esta práctica agroforestal, conocida como kool en maya yucateco, tiene una importancia cultural e histórica significativa a la vez que proporciona dietas diversas y nutritivas a los pequeños agricultores (Fonteyne et al., 2023; RodríguezRobayo et al., 2020). El sistema implica técnicas de roza y quema y un manejo cuidadoso de la regeneración en etapa temprana, promoviendo la biodiversidad y la resiliencia del ecosistema (Nigh, 2008).

A pesar de sus beneficios, la milpa enfrenta desafíos debido a los cambios socioeconómicos y la falta de conocimiento agronómico moderno (Fonteyne et al., 2023). Investigaciones recientes se han centrado en la fertilidad del suelo, el manejo de malezas y las mejoras de la productividad (Fonteyne et al., 2023). Además, la milpa está experimentando procesos de reconocimiento patrimonial e integración turística en algunas zonas, como se observa en Ek Balam, Yucatán (Jouault et al., 2018). Estos desarrollos podrían

contribuir a la preservación y adaptación de este valioso sistema agrícola.

### 1. Diagnóstico y Planificación

- Conocimiento local: Recopilar el conocimiento local sobre las prácticas tradicionales de la milpa (Kool) a través de entrevistas, talleres y recorridos de campo.
- Análisis del suelo y clima: Analizar las características del suelo y el clima del sitio para determinar las especies de cultivos y árboles más adecuadas.
- Diseño de la milpa: Diseñar la milpa considerando la diversidad de cultivos, la rotación de cultivos, la asociación de cultivos y el manejo forestal. Integrar especies nativas y adaptadas a las condiciones locales.

### 2. Preparación del Terreno

- Limpieza del terreno: Limpiar el terreno de malezas y vegetación no deseada, utilizando métodos manuales o mecánicos para minimizar el impacto en el suelo.
- Abonado: Incorporar materia orgánica al suelo (compost, estiércol, abono verde) para mejorar su fertilidad y estructura.

### 3. Siembra y Manejo

- Siembra diversificada: Sembrar una diversidad de cultivos en la milpa, incluyendo maíz, frijol, calabaza, chile, tomate, hierbas aromáticas y medicinales. Utilizar semillas criollas o variedades locales adaptadas a las condiciones del sitio.
- Rotación de cultivos: Implementar la rotación de cultivos para mejorar la fertilidad del suelo, controlar las plagas y enfermedades y aumentar la productividad.

- Asociación de cultivos: Asociar cultivos que se benefician mutuamente, como el maíz y el frijol (el maíz sirve de soporte para el frijol y el frijol fija nitrógeno en el suelo).
- Manejo forestal: Incorporar árboles y arbustos en la milpa para proporcionar sombra, mejorar la fertilidad del suelo, proteger contra la erosión y diversificar los productos.
- Control de plagas y enfermedades: Utilizar métodos de control biológico y prácticas culturales para controlar las plagas y enfermedades, evitando el uso de pesticidas químicos.

### 4. Cosecha y Conservación

- Cosecha diversificada: Cosechar los diferentes cultivos y productos forestales de la milpa de manera escalonada a lo largo del año.
- Conservación de semillas: Conservar semillas de las mejores plantas para asegurar la disponibilidad de semillas criollas o variedades locales en el futuro.
- Procesamiento y almacenamiento: Procesar y almacenar los productos de la milpa de manera adecuada para asegurar su conservación y disponibilidad para el consumo y la venta.

### 5. Monitoreo y Adaptación

- Monitoreo de cultivos: Monitorear el crecimiento y la salud de los cultivos, así como la presencia de plagas y enfermedades.
- Monitoreo del suelo: Monitorear la fertilidad y la estructura del suelo.
- Evaluación de la biodiversidad: Evaluar la diversidad de plantas y animales en la milpa.

- Adaptación de prácticas: Adaptar las prácticas de manejo de la milpa según sea necesario, en función de los resultados del monitoreo y la evaluación.

## 6. Ejemplo práctico: Milpa Biodiversa (Kool) en Calakmul, Campeche

En la región de Calakmul, Campeche, México, se promueve el Kool como una técnica AbE para conservar suelos, diversificar alimentos y fortalecer el conocimiento maya. El Kool es un sistema agrícola tradicional maya que combina el cultivo de maíz, frijol, calabaza y otras especies, con el manejo forestal y la conservación de la biodiversidad. En Calakmul, se ha promovido la diversificación de cultivos y la adopción de prácticas agrícolas sostenibles en el Kool para mejorar la productividad, la resiliencia y la seguridad alimentaria de las comunidades locales (Álvarez-Romero et al., 2008). El Kool también contribuye a la conservación de los suelos, la captura de carbono y la protección de la biodiversidad en la región.



El control de especies invasoras es vital para recuperar la diversidad, funcionalidad y resiliencia de los ecosistemas. Requiere un enfoque integral, que aborde desde la prevención y control hasta la restauración activa tras la remoción. El control de especies invasoras es crucial para la restauración de ecosistemas y la conservación de la biodiversidad.

La prevención se considera la estrategia más deseable, pero enfrenta desafíos para distinguir las especies invasoras de las no invasoras (Hulme, 2006). Cuando la prevención falla, los enfoques de manejo incluyen métodos físicos, químicos y biológicos, cada uno con limitaciones (Guo et al., 2018). Se propone un enfoque ecológico centrado en la restauración de especies nativas y la manipulación de biomasa como una alternativa más segura (Guo et al., 2018). La toma de decisiones para el control de plantas invasoras debe considerar atributos biogeográficos y ecológicos, así como factores socioeconómicos (Durigan et al., 2013).

En América Latina, las estrategias para el manejo de especies invasoras en embalses involucran la participación comunitaria y la gestión de proyectos socioambientales (Mera Párraga et al., 2024). La gestión eficaz de especies invasoras requiere un enfoque

integral que aborde la prevención, el control y la restauración activa, considerando los contextos locales y regionales para mejorar la resiliencia del ecosistema y la resistencia a las invasiones (Guo et al., 2018).

### Eliminación Selectiva y Manejo Adaptativo

Las especies invasoras son una de las principales causas de pérdida de biodiversidad a nivel global, representando una seria amenaza para la integridad de los ecosistemas y la provisión de servicios ecosistémicos (Simberloff et al., 2013; Vitousek et al., 1996). Estas especies, introducidas accidental o intencionalmente fuera de su área de distribución natural, pueden competir con las especies nativas por recursos, depredarlas, transmitir enfermedades, alterar los hábitats y modificar los procesos ecológicos (Mack et al., 2000).

El control de especies invasoras es, por lo tanto, una estrategia esencial para la restauración del equilibrio ecológico y la conservación de la biodiversidad, especialmente en áreas naturales protegidas (Zavaleta et al., 2001). Las técnicas de control varían según la especie invasora, el contexto ecológico y los recursos disponibles, e incluyen métodos manuales, mecánicos, químicos y biológicos (Wittenberg & Cock, 2001).

La selección de la técnica más apropiada requiere una evaluación cuidadosa de los costos y beneficios, así como de los posibles impactos no deseados sobre el ecosistema y las especies no objetivo (Hulme et al., 2017). En muchos casos, una combinación de técnicas puede ser la estrategia más efectiva para lograr el control a largo plazo de las especies invasoras y la restauración del equilibrio ecológico.

### 1. Evaluación y Planificación

- Identificación y mapeo: Identificar y mapear las especies invasoras presentes en el área, así como su distribución y abundancia.

- Evaluación de impactos: Evaluar los impactos ecológicos, económicos y sociales de las especies invasoras, considerando sus efectos sobre las especies nativas, los hábitats y los servicios ecosistémicos.
- Definición de objetivos: Definir objetivos claros y realistas para el control de las especies invasoras, considerando la factibilidad técnica, los recursos disponibles y las prioridades de conservación.
- Selección de técnicas: Seleccionar las técnicas de control más apropiadas para cada especie invasora, considerando su biología, ecología y los posibles impactos no deseados sobre el ecosistema.
- Plan de manejo: Desarrollar un plan de manejo detallado que incluya las técnicas de control a utilizar, el cronograma de actividades, los indicadores de éxito y los mecanismos de monitoreo y evaluación.

### 2. Técnicas de Control

#### Control Manual

- Descripción: Remoción física de las especies invasoras mediante métodos manuales, como la extracción de plantas, la captura de animales o la recolección de huevos.
- Aplicación: Adecuado para áreas pequeñas o especies con baja densidad poblacional. Requiere mano de obra intensiva y puede ser selectivo, minimizando el impacto sobre las especies no objetivo.
- Ejemplo: Extracción manual de plantas invasoras como el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en humedales.

#### Control Mecánico

- Descripción: Utilización de maquinaria o herramientas para remover o controlar las especies invasoras, como la siega

de pastos, la tala de árboles o la instalación de barreras físicas.

- Aplicación: Adecuado para áreas extensas o especies con alta densidad poblacional. Puede ser más eficiente que el control manual, pero puede tener impactos no deseados sobre el suelo, la vegetación y la fauna.
- Ejemplo: Siega de pastos invasores como el pasto *Urochloa* (*Urochloa* spp.) en pastizales.

### Control Químico

- Descripción: Utilización de herbicidas, pesticidas u otros productos químicos para controlar las especies invasoras.
- Aplicación: Adecuado para especies difíciles de controlar con métodos manuales o mecánicos. Puede ser efectivo, pero puede tener impactos no deseados sobre la salud humana, el medio ambiente y las especies no objetivo.
- Ejemplo: Utilización de herbicidas selectivos para controlar plantas invasoras como el retamo espinoso (*Ulex europaeus*) en bosques.

### Control Biológico

- Descripción: Utilización de enemigos naturales (depredadores, parásitos, patógenos) para controlar las especies invasoras.
- Aplicación: Potencialmente sostenible y de bajo costo, pero requiere una investigación exhaustiva para asegurar que el agente de control no afecte a las especies no objetivo.
- Ejemplo: Utilización de la polilla *Cactoblastis cactorum* para controlar el cactus *Opuntia* en Australia.

### Control Integrado

- Descripción: Combinación de diferentes técnicas de control para maximizar la efectividad y minimizar los impactos no deseados.
- Aplicación: La estrategia más recomendada para el control a largo plazo de las especies invasoras.

### 3. Implementación y Monitoreo

- Implementación: Implementar las técnicas de control de acuerdo con el plan de manejo, asegurando que se sigan los protocolos de seguridad y se minimicen los impactos no deseados.
- Monitoreo: Monitorear la efectividad de las técnicas de control, así como los posibles impactos sobre el ecosistema y las especies no objetivo.
- Evaluación: Evaluar los resultados del control de las especies invasoras, comparando los indicadores de éxito con los objetivos definidos en el plan de manejo.
- Adaptación: Adaptar las técnicas de control según sea necesario, en función de los resultados del monitoreo y la evaluación.

### 4. Restauración del Ecosistema

- Restauración de hábitat: Restaurar los hábitats degradados por las especies invasoras, utilizando técnicas de revegetación, control de la erosión y mejora de la calidad del agua.
- Reintroducción de especies nativas: Reintroducir especies nativas que han sido desplazadas o eliminadas por las especies invasoras.

- Manejo continuo: Implementar un programa de manejo continuo para prevenir la reintroducción o el resurgimiento de las especies invasoras.

### 5. Ejemplo práctico: Erradicación de Cabras Ferales en el Archipiélago de las Galápagos (Ecuador)

En el Archipiélago de las Galápagos, Ecuador, la introducción de cabras ferales (*Capra aegagrus hircus*) causó graves daños a los ecosistemas insulares, incluyendo la destrucción de la vegetación nativa, la erosión del suelo y la competencia con las especies endémicas. Para restaurar los ecosistemas degradados, se implementó un ambicioso programa de erradicación de cabras ferales, utilizando una combinación de técnicas, incluyendo el trampeo, la caza con perros rastreadores y el uso de helicópteros para identificar y eliminar los últimos individuos. La erradicación de las cabras ferales ha permitido la recuperación de especies endémicas como las tortugas gigantes y las iguanas terrestres, así como la regeneración de la vegetación nativa y la restauración de los hábitats insulares únicos (Campbell et al., 2004). Este proyecto ha sido un ejemplo exitoso de control de especies invasoras y restauración ecológica a gran escala.



Cabras invasoras (*Capra hircus*) en el hábitat de una tortuga gigante en las Galápagos. Su control y erradicación en algunas islas han permitido la recuperación del ecosistema. Archivo ©Galápagos Conservancy

### 4. Monitoreo Comunitario y Ciencia Participativa



El Monitoreo Comunitario Participativo (MCP) de los recursos naturales, en particular la calidad del agua y los manglares se ha implementado en varias regiones de México y Ecuador. Estas iniciativas involucran a las comunidades locales en la recopilación de datos, el análisis y los procesos de toma de decisiones (Perevochtchikova et al., 2016; Jurrius y López Rodríguez, 2020). El MCP ha demostrado potencial para empoderar a las comunidades, crear conciencia sobre los problemas ambientales y complementar las fuentes de datos oficiales (Perevochtchikova y Sandoval-Romero, 2020). En las comunidades forestales de la Ciudad de México, el MCP reveló una buena calidad fisicoquímica del agua, pero niveles preocupantes de bacterias fecales en algunas fuentes (Perevochtchikova et al., 2016).

Los proyectos de ciencia participativa en León y Guadalajara demostraron el valor de la participación ciudadana en el monitoreo de la calidad del aire, ayudando a cerrar la brecha entre las políticas, la ciencia y la sociedad (López et al., 2023). Estos estudios resaltan la importancia del CBPM para fomentar la participación comunitaria, generar conocimiento e informar los procesos locales de toma de decisiones para los esfuerzos de gestión ambiental y conservación.

## Evaluación del Estado de los Ecosistemas y sus Servicios

La evaluación del estado de los ecosistemas y sus servicios es un paso fundamental para la gestión efectiva de áreas naturales protegidas y la implementación de estrategias de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE). Esta evaluación permite comprender la estructura, función y resiliencia de los ecosistemas, así como su capacidad para proporcionar servicios esenciales para el bienestar humano, como la regulación del agua, la polinización, el control de la erosión y el secuestro de carbono (Daily, 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Sin embargo, la evaluación de los ecosistemas puede ser un desafío, especialmente en áreas remotas o con recursos limitados.

El uso de metodologías accesibles y participativas, como el fototrampeo, los drones y los mapas participativos, puede facilitar la recopilación de datos y la participación de las comunidades locales en el proceso de evaluación, promoviendo la apropiación y la sostenibilidad de las acciones de conservación (Danielsen et al., 2009; Fraenkel, 2005). Al combinar el conocimiento científico con el conocimiento local, es posible obtener una comprensión más completa y precisa del estado de los ecosistemas y sus servicios, y tomar decisiones informadas sobre su gestión y conservación.

### 1. Definición de Objetivos y Alcance

- Identificación de servicios ecosistémicos clave: Identificar los servicios ecosistémicos que son más importantes para las comunidades locales y para la conservación de la biodiversidad en el área.
- Definición de preguntas de investigación: Formular preguntas de investigación claras y concisas sobre el estado de los ecosistemas y sus servicios, que puedan ser respondidas utilizando las metodologías disponibles.

- Establecimiento de indicadores: Seleccionar indicadores relevantes y medibles para evaluar el estado de los ecosistemas y sus servicios, considerando la disponibilidad de datos, la factibilidad de la medición y la participación de las comunidades locales.
- Definición del área de estudio: Definir el área de estudio y delimitar los ecosistemas a evaluar.

## 2. Selección de Metodologías

### Fototrampeo

- Descripción: Utilización de cámaras automáticas que se activan por movimiento para registrar la presencia y abundancia de fauna en diferentes hábitats.
- Aplicación: Monitoreo de especies indicadoras, evaluación de la biodiversidad, detección de especies invasoras, evaluación del impacto de actividades humanas sobre la fauna.
- Ventajas: No intrusivo, permite la recopilación de datos a largo plazo, puede ser utilizado en áreas remotas, bajo costo operativo.
- Desventajas: Requiere la inversión inicial en cámaras, puede ser afectado por el clima y la vegetación, requiere el procesamiento de grandes cantidades de datos.

### Drones

- Descripción: Utilización de drones equipados con cámaras y sensores para obtener imágenes aéreas de alta resolución y datos sobre la vegetación, el suelo y el agua.
- Aplicación: Mapeo de hábitats, evaluación de la cobertura vegetal, detección de cambios en el uso del suelo, monitoreo de la deforestación y la degradación del suelo, evaluación del impacto de eventos climáticos extremos.

- **Ventajas:** Permite la recopilación de datos a gran escala, ofrece imágenes de alta resolución, puede ser utilizado en áreas de difícil acceso, costo relativamente bajo en comparación con los métodos tradicionales de teledetección.
- **Desventajas:** Requiere la capacitación de personal, puede ser afectado por el clima y la regulación del espacio aéreo, requiere el procesamiento de grandes cantidades de datos.

### Mapas Participativos

- **Descripción:** Creación de mapas utilizando el conocimiento local y la participación de las comunidades para identificar y representar los recursos naturales, los usos del suelo, los servicios ecosistémicos y las áreas de conservación.
- **Aplicación:** Identificación de áreas prioritarias para la conservación, evaluación de los servicios ecosistémicos, resolución de conflictos por el uso de la tierra, planificación del desarrollo sostenible.
- **Ventajas:** Incorpora el conocimiento local, promueve la participación y la apropiación de las acciones de conservación, facilita la comunicación y la colaboración entre diferentes actores.
- **Desventajas:** Requiere la capacitación de facilitadores, puede ser afectado por la subjetividad y los sesgos, requiere la validación y el análisis de los datos.

### 3. Implementación

- **Capacitación:** Capacitar a las comunidades locales en el uso de las metodologías seleccionadas, incluyendo la instalación y el mantenimiento de equipos, la recopilación de datos, el procesamiento y el análisis de la información.

- **Recopilación de datos:** Recopilar datos utilizando las metodologías seleccionadas, siguiendo protocolos estandarizados y asegurando la calidad de la información.
- **Análisis de datos:** Analizar los datos recopilados utilizando métodos estadísticos y herramientas de software, generando mapas, gráficos y tablas que permitan visualizar y comunicar los resultados.

### 4. Interpretación y Comunicación

- **Interpretación participativa:** Interpretar los resultados de la evaluación en colaboración con las comunidades locales, considerando el conocimiento científico y el conocimiento local.
- **Comunicación de resultados:** Comunicar los resultados de la evaluación a las comunidades locales, a las autoridades ambientales y a otras partes interesadas, utilizando formatos accesibles y adaptados a diferentes audiencias.
- **Toma de decisiones:** Utilizar los resultados de la evaluación para tomar decisiones informadas sobre la gestión y la conservación de los ecosistemas y sus servicios, involucrando a las comunidades locales en el proceso de toma de decisiones.

### 5. Monitoreo y Adaptación

- **Monitoreo a largo plazo:** Implementar un programa de monitoreo a largo plazo para evaluar los cambios en el estado de los ecosistemas y sus servicios, utilizando las metodologías seleccionadas.
- **Adaptación:** Adaptar las estrategias de gestión y conservación según sea necesario, en función de los resultados del monitoreo y la evaluación.

## 6. Ejemplo práctico: Monitoreo de Fauna con Cámaras Trampa en la Reserva Nacional Tambopata (Perú)

En la Reserva Nacional Tambopata, Perú, el monitoreo de fauna con cámaras trampa ha sido incorporado en los programas escolares de educación ambiental. Los estudiantes locales participan en la instalación y el mantenimiento de las cámaras trampa, así como en la identificación y el análisis de las imágenes capturadas. Este programa no solo permite el monitoreo de la fauna silvestre en la reserva, sino que también promueve la educación ambiental y el involucramiento de las comunidades locales en la conservación de la biodiversidad (Suriaga, 2018). Los datos recopilados con las cámaras trampa se utilizan para evaluar el impacto de las actividades humanas sobre la fauna, diseñar estrategias de conservación y promover el turismo sostenible.



## 5. Fortalecimiento de Capacidades y Gobernanza Local



Las SbN ofrecen una oportunidad estratégica para abordar problemáticas relacionadas con la gestión del agua, la resiliencia climática, la conservación de la biodiversidad, entre otras, integra conocimientos y prácticas de manejo sostenible de los ecosistemas, por lo que el fortalecimiento de capacidades y la gobernanza local constituyen pilares fundamentales para la implementación efectiva de las SbN. En este marco, el desarrollo de capacidades técnicas, institucionales y comunitarias permite empoderar a los actores locales para planificar, ejecutar y monitorear intervenciones basadas en la naturaleza de manera inclusiva y sostenible.

### Educación Ambiental y Transferencia de Conocimiento

La educación ambiental y la transferencia de conocimientos son componentes esenciales para el éxito y la sostenibilidad de las estrategias de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) en áreas naturales protegidas (Berkes, 2009; Sterling et al., 2017). El desarrollo de capacidades locales, a través de la educación y la capacitación, permite a las comunidades comprender la importancia de los ecosistemas, participar activamente en su gestión y adoptar prácticas sostenibles que contribuyan a su conservación y restauración (Pretty, 2003).

La educación ambiental no se limita a la transmisión de información, sino que implica un proceso de aprendizaje transformador que fomenta el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la acción colectiva (Tilbury & Janousek, 2006). La transferencia de conocimientos, por su parte, implica la transmisión de habilidades, técnicas y experiencias entre diferentes actores, incluyendo científicos, técnicos, comunidades locales y tomadores de decisiones (Reed et al., 2006). Al fortalecer las capacidades locales y promover el intercambio de conocimientos, se asegura la permanencia de las acciones AbE y se construye una base sólida para la gestión sostenible de los recursos naturales.

### **1. Evaluación de Necesidades y Capacidades**

- **Análisis de brechas:** Identificar las brechas de conocimiento, habilidades y actitudes que limitan la participación efectiva de las comunidades locales en las acciones AbE.
- **Evaluación de capacidades existentes:** Evaluar las capacidades existentes en las comunidades locales, incluyendo el conocimiento tradicional, las habilidades técnicas y las estructuras organizativas.
- **Identificación de actores clave:** Identificar a los actores clave que pueden contribuir a la educación ambiental y la transferencia de conocimientos, incluyendo líderes comunitarios, maestros, técnicos, científicos y organizaciones no gubernamentales.

### **2. Diseño de Programas de Educación Ambiental**

- **Definición de objetivos de aprendizaje:** Definir objetivos de aprendizaje claros y alcanzables para los programas de educación ambiental, considerando las necesidades y los intereses de las comunidades locales.
- **Selección de metodologías:** Seleccionar metodologías participativas y experienciales que promuevan el

aprendizaje activo, el pensamiento crítico y la resolución de problemas, incluyendo talleres, cursos, excursiones, juegos, simulaciones y proyectos comunitarios.

- **Desarrollo de materiales educativos:** Desarrollar materiales educativos relevantes y culturalmente apropiados, utilizando lenguajes y formatos accesibles para las comunidades locales.
- **Integración del conocimiento tradicional:** Integrar el conocimiento tradicional y las prácticas sostenibles de las comunidades locales en los programas de educación ambiental.

### **3. Implementación de Programas de Educación Ambiental**

- **Capacitación de facilitadores:** Capacitar a los facilitadores de los programas de educación ambiental en las metodologías participativas, el conocimiento ecológico y la comunicación intercultural.
- **Implementación de actividades:** Implementar las actividades de educación ambiental en las comunidades locales, adaptando los contenidos y las metodologías a las necesidades y los intereses de los participantes.
- **Seguimiento y evaluación:** Realizar un seguimiento continuo de los programas de educación ambiental, evaluando su impacto sobre el conocimiento, las actitudes y las prácticas de las comunidades locales.

### **4. Estrategias de Transferencia de Conocimientos**

- **Intercambio de experiencias:** Facilitar el intercambio de experiencias entre diferentes comunidades, técnicos y científicos, a través de visitas de campo, talleres, conferencias y publicaciones.
- **Mentoría y apoyo técnico:** Proporcionar mentoría y apoyo técnico a las comunidades locales, a través de la

contratación de técnicos locales, la creación de centros de capacitación y la facilitación del acceso a información y recursos.

- Creación de redes de aprendizaje: Crear redes de aprendizaje entre diferentes comunidades y actores, promoviendo la colaboración, el intercambio de información y el desarrollo de soluciones conjuntas.
- Documentación y difusión: Documentar y difundir las experiencias y los conocimientos generados a través de las acciones AbE, utilizando diferentes medios de comunicación, incluyendo informes, videos, fotografías y redes sociales.

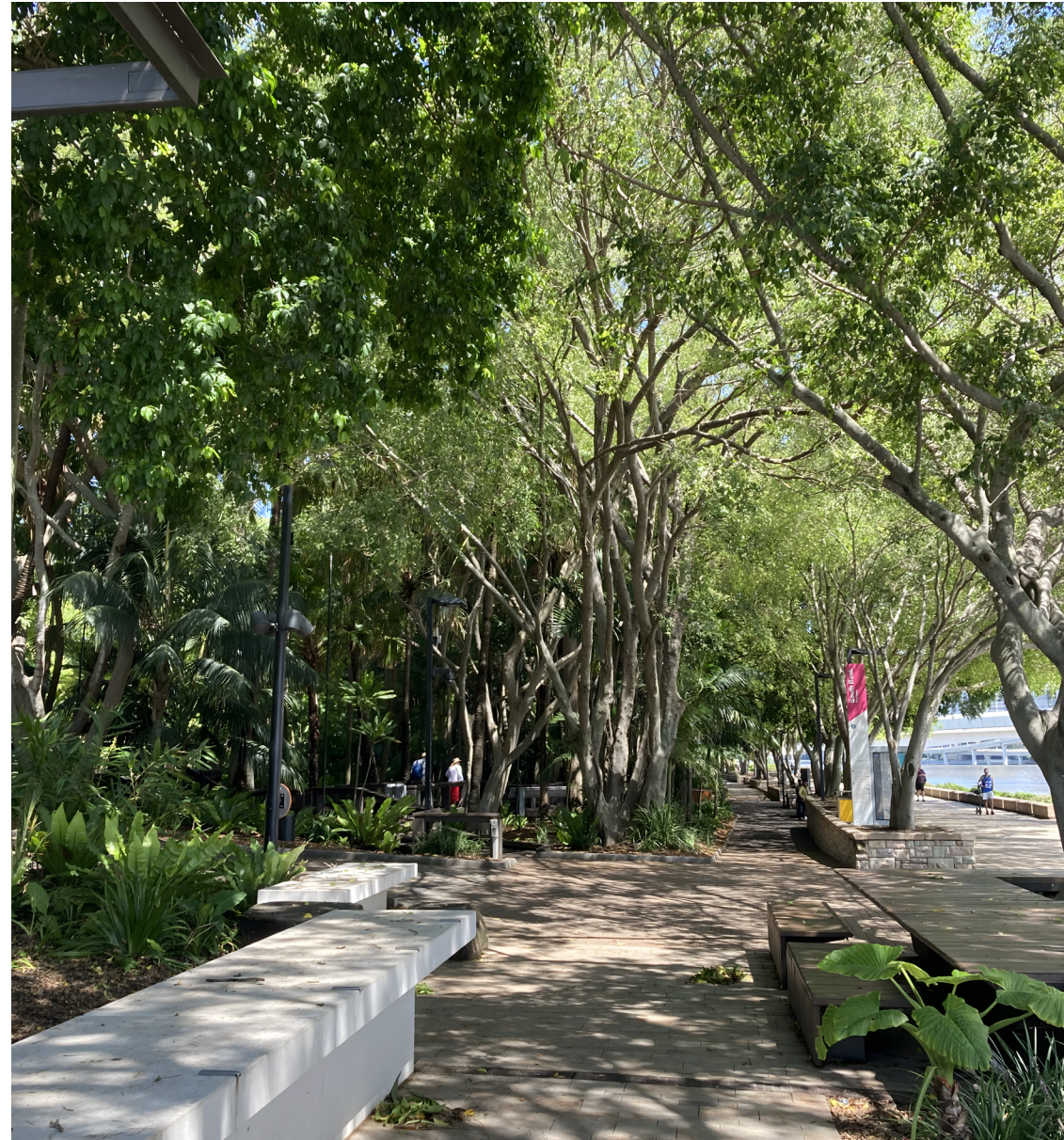
## 5. Evaluación y Adaptación

- Evaluación del impacto: Evaluar el impacto de la educación ambiental y la transferencia de conocimientos sobre la participación de las comunidades locales en las acciones AbE, así como sobre la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales.
- Adaptación de estrategias: Adaptar las estrategias de educación ambiental y transferencia de conocimientos según sea necesario, en función de los resultados de la evaluación y los cambios en el contexto social y ecológico.

## 6. Ejemplo práctico: Redes de Mujeres Guardianas del Bosque en la Reserva de la Biosfera Yabotí (Argentina)

En la Reserva de la Biosfera Yabotí, Argentina, se han formado redes de mujeres guardianas del bosque que promueven técnicas de restauración y producción sostenible. Estas redes están integradas por mujeres de diferentes comunidades que han sido capacitadas en técnicas de restauración de bosques nativos, manejo de viveros, producción de alimentos orgánicos y elaboración de productos artesanales.

Las mujeres guardianas del bosque actúan como promotoras ambientales en sus comunidades, compartiendo sus conocimientos y habilidades con otras personas y fomentando la adopción de prácticas sostenibles (Programa Yabotí, 2020). Además, las redes de mujeres guardianas del bosque participan activamente en la gestión de la reserva, monitoreando el estado de los bosques, denunciando actividades ilegales y promoviendo el turismo sostenible.



Técnicas AbE	Descripción
Reforestación con especies nativas	Plantación activa de árboles y arbustos nativos en áreas degradadas, considerando sucesión ecológica y disponibilidad local de semillas.
Regeneración natural asistida	Protección de zonas degradadas para permitir recuperación natural, apoyada con cercado, control de especies invasoras y monitoreo.
Enmiendas orgánicas y biochar	Incorporación de composta, abonos verdes o carbón vegetal para mejorar la fertilidad, estructura y retención de agua del suelo.
Agricultura de conservación y sistemas agroecológicos	Estrategias como rotación de cultivos, coberturas vivas, no laboreo y agroforestería para restauración productiva.
Protección de nacientes y cuerpos de agua	Delimitación de zonas de amortiguamiento alrededor de fuentes hídricas mediante reforestación y participación comunitaria.
Infraestructura verde	Construcción de elementos físicos como zanjas, terrazas y biofiltros vegetales para reducir escorrentía y recargar acuíferos.
Rehabilitación de manglares y estuarios	Restauración hidrológica natural, remoción de diques y reintroducción de especies clave en ecosistemas costeros.
Cultivo regenerativo de especies marinas	Producción ecológica de organismos marinos como ostras o algas para apoyar la restauración de funciones ecológicas.
Corredores biológicos multifuncionales	Sistemas tradicionales que combinan cultivos, árboles y prácticas culturales para conservar biodiversidad y suelo.
Milpas biodiversas (Kool)	Es un acuerdo global para reducir, prevenir y ofrecer respuesta a riesgos de desastres en todo el mundo.
Eliminación selectiva y manejo adaptativo	Control de especies invasoras mediante técnicas manuales, mecánicas o biológicas, adaptadas al contexto local.
Evaluación del estado de los ecosistemas	Monitoreo comunitario usando herramientas accesibles como fototrampeo, drones o cartografía participativa.
Educación ambiental y transferencia de conocimientos	Fortalecimiento de capacidades locales para asegurar la permanencia de acciones y conocimientos AbE.



## Referencias Bibliográficas

- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29(3), 349-363.
- Álvarez-Romero, J. G., Medellín, R. A., Bartolo, R., Gómez-Pompa, A., & Dirzo, R. (2008). Linking landscape transformation and population decline in Mesoamerican primates. *Biological Conservation*, 141(10), 2556-2564.
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169-193.
- Bennett, A. F. (2003). *Linkages in the landscape: The role of corridors and connectivity in wildlife conservation* (2nd ed.). IUCN.
- Berkes, F. (2009). Evolution of comanagement: Bridging the gap between knowledge and power. *Human Ecology Review*, 16(2), 143-147.

- Campbell, K. J., Donlan, C. J., Cruz, F., Carrion, V., & Isis, E. (2004). Eradication of feral goats improves the recruitment of the native Galapagos tortoise *Chelonoidis nigra*. *Biological Conservation*, 116(2), 205212.
- Castillo, J. A., Mendoza, E., Lugo, A. E., & Martínez, M. L. (2017). Mangrove rehabilitation in a degraded karstic landscape: Sian Ka'an Biosphere Reserve, Mexico. *Restoration Ecology*, 25(S1), S124S132.
- Costanza, R., Kubiszewski, I., Woodward, J., Sutton, P., Mulder, K., McCumsey, S., & Troy, A. (2008). The value of ecosystem services: Global estimates for 1997. *Ecological Economics*, 69(1), 6772.
- Crooks, K. R., & Sanjayan, M. (2006). *Connectivity conservation*. Cambridge University Press.
- Daily, G. C. (Ed.). (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press.
- Danielsen, F., Burgess, N. D., Balmford, A., Donald, P. F., Funder, M., Jones, J. P. G., ... & Yonten, D. (2009). Local participation in natural resource monitoring: A characterization of approaches. *Conservation Biology*, 23(1), 3142.
- Fraenkel, S. (2005). Participatory mapping: A review and critique. *The Cartographic Journal*, 42(3), 227238.
- Froehlich, H. E., Gentry, R. R., & Halpern, B. S. (2017). Global change and the future of oceanbased food. *Global Environmental Change*, 47, 1933.
- Gedan, K. B., Kirwan, M. L., Wolanski, E., Barbier, E. B., & Silliman, B. R. (2011). The present and future role of coastal wetland vegetation in protecting shorelines: Answering recent challenges to the paradigm. *Climatic Change*, 106(1), 729.
- Gentry, R. R., Froehlich, H. E., Grimm, D., Kerns, K., & Halpern, B. S. (2017). Mapping the global potential for marine aquaculture. *Nature Ecology & Evolution*, 1(9), 13171324.
- Granizo, T., Cruz, G., Borbor, A., Coronel, J., & Sonnenholzner, S. (2016). Community based oyster restoration in the Gulf of Guayaquil, Ecuador: A sustainable approach. *Ocean & Coastal Management*, 130, 267275.
- Hilty, J. A., Lidicker Jr, W. Z., & Merenlender, A. M. (2006). *Corridor ecology: The science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation*. Island Press.
- Holdt, S. L., & Edwards, M. D. (2014). Seaweed production: Overview of key issues. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 653674.
- Hulme, P. E., O'Flynn, C., Scalera, R., Adriaens, T., Arts, K., Gallardo, B., ... & Vandekerkhove, J. (2017). Alien species in Europe: Establishing the environmental baseline. *NeoBiota*, 32, 137.
- Lindenmayer, D. B., & Fischer, J. (2006). *Habitat fragmentation and landscape change: An ecological and conservation synthesis*. Island Press.
- Mack, R. N., Simberloff, D., Lonsdale, W. M., Evans, H., Clout, M., & Bazzaz, F. A. (2000). Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications*, 10(3), 689710.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human wellbeing: Synthesis*. Island Press.
- Miller, K. R., Allegretti, M. H., Johnson, N., & Jonsson, O. (2001). Protected areas and the Mesoamerican Biological Corridor: A collaborative approach to regional conservation. IUCN.

- Pimentel Cilento Porfirio, M., Silva, S. L., & de Paula Gomes, E. (2022). Nature based solutions: a tool for urban resilience to floods. *Ambiente Construído*, 22(4), 1938.
- Pretty, J. (2003). Social capital and collective management of resources. *Science*, 302(5652), 19121915.
- Reed, M. S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., Prell, C., Quinn, C. H., & Stringer, L. C. (2006). Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 19331949.
- Ribas Palom, A., & Saurí Pujol, D. (2022). Nature based solutions for flood risk reduction: A systematic review. *Environmental Science & Policy*, 136, 657669.
- Ribeiro Mendes, J., & Gonçalves Pina, A. (2023). Rainwater harvesting systems and green infrastructure for stormwater management: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 386, 135758.
- Rojas, O., Feyen, J., & Doswald, N. (2023). Nature based solutions for disaster risk reduction: A review of evidence and policy implications. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 91, 103675.
- Simberloff, D., Martin, J. L., Genovesi, P., Maris, V., Tuncok, K., Pyšek, P., ... & Sousa, R. (2013). Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. *Invasive Species Management*, 125.
- Spalding, M., Mclvor, A., Tonneijck, F. H., Tol, S., & van Eijk, P. (2014). Mangrove restoration: A guide to best practice. Wetlands International.
- Sterling, E. J., Gomez, A., & Porzecanski, A. L. (2017). Implementing the Convention on Biological Diversity's Strategic Plan for Biodiversity 20112020 through systematic conservation planning: A review. *Biological Conservation*, 213, 264272.
- Suriaga, M. (2018). Monitoreo participativo de fauna silvestre con cámaras trampa en la Reserva Nacional Tambopata, Perú. [Presentación de conferencia]. Congreso Latinoamericano de Áreas Protegidas, Cusco, Perú.
- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68(3), 571573.
- Theuerkauf, S. J., Alleway, H. K., Jones, B. A., & Gillies, C. L. (2019). Restorative aquaculture: A review of practices, outcomes, and governance. *Restoration Ecology*, 27(4), 683693.
- Tilbury, D., & Janousek, S. (2006). The development of sustainability led education. *Journal of Education for Sustainable Development*, 1(2), 107119.
- Vignola, R., Locatelli, B., Jarvis, A., & Harvey, C. A. (2009). Assessing vulnerability to climate change for ecosystembased adaptation: A review of conceptual frameworks. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(2), 153173.
- Vitousek, P. M., D'Antonio, C. M., Loope, L. L., Rejmánek, M., & Westbrooks, R. (1996). Biological invasions as global environmental change. *American Scientist*, 84(5), 468478.
- Wittenberg, R., & Cock, M. J. W. (2001). Invasive alien species: A toolkit of best prevention and management practices. CABI Publishing.

- Zavaleta, E. S., Hobbs, R. J., & Mooney, H. A. (2001). Viewing invasive species removal in a whole ecosystem context. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(8), 454-459.

