

Tecnologías para el manejo del riesgo de inundaciones a diferentes escalas

autor

JAIRO DELGADO ARAQUE

Director

OSCAR HERNÁNDEZ PARADA

Mag. Ingeniería civil y obras hidráulicas

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS AMBIENTAL, QUÍMICA Y CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, Julio 06 de 2024**

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad de Pamplona por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios y por el apoyo constante y las herramientas que me proporcionaron para alcanzar este importante logro. A mis padres y a mi hermana, quienes siempre han estado a mi lado, ofreciéndome su incondicional amor, apoyo y sabiduría, les debo mi más profundo agradecimiento. Sin su aliento constante y sacrificio, nada de esto habría sido posible. También quiero extender mi gratitud a mis compañeros y amigos, cuya valiosa ayuda, colaboración y camaradería han sido fundamentales para superar los retos y desafíos a lo largo de este camino. Gracias por estar allí en los momentos difíciles y por compartir conmigo cada éxito y logro.

Tabla de Contenido

1.	Introducción	1
2.	Clasificación de medidas para el manejo de inundaciones	3
2.1.	Medidas para la reducción de probabilidades de inundación	3
2.1.1.	Recolección de aguas lluvia	4
2.1.2.	Reforestación	7
2.1.3.	Conservación del suelo	9
2.1.4.	Recarga de aguas subterráneas	10
2.2.	Medidas para el control de la intensidad de inundación	12
2.2.1.	Almacenamiento y reservorios de aguas lluvias	12
2.2.2.	Diques y muros de contención	15
2.2.3.	Desvío del flujo	19
2.2.4.	Encauzamiento o canalización del río	22
2.2.5.	Mejora de capacidad de flujo (Dragado)	25
2.3.	Medidas para la reducción de la vulnerabilidad ante inundación	29
2.3.1.	Restauración de llanuras de inundación	29
2.3.2.	Adaptación del uso del suelo	30
2.3.3.	Estructuras resistentes a inundaciones	32
2.3.4.	Actualización de códigos de construcción y planes de ordenamiento.	34
2.3.5.	Concientización publica	38
2.3.6.	Planes de evacuación	42
2.3.7.	Organismos de rescate	44
2.4.	Planes de manejo para recuperación y reparación de daños	46
2.4.1.	Esfuerzos de ayuda	47
2.4.2.	Seguros de inundación y compensaciones económicas	50
3.	Discusión y análisis	53
4.	Conclusiones	57
5.	Bibliografía	59

Lista de figuras

Ilustración 1. Ilustración de un sistema de tanque enterrado para recolección de aguas lluvia con un.	5
Ilustración 2. Factores que influyen en la escorrentía a escala de cuenca.	8
Ilustración 3. Esquema de los tipos de Recarga Artificial de Acuíferos (MAR)	11
Ilustración 4. Niveles de agua en el funcionamiento de reservorios e hidroeléctricas.	14
Ilustración 5. Dique a la orilla del Canal Interceptor Sur y del río Cauca, Cali, Colombia	16
Ilustración 6. Muro de contención sobre los ríos Tobia y Negro, Nimaima, Colombia	17
Ilustración 7. Muro de gaviones	18
Ilustración 8. Canal de derivación	20
Ilustración 9. Canal de derivación en el “Red river”, Alberta, Canadá	21
Ilustración 10. Encauzamiento de un arroyo, Mallorca, España	23
Ilustración 11. Canalización de un río, Toronto, Canadá	24
Ilustración 12. Sección de río antes del dragado.	26
Ilustración 13. Desbordamiento del río cauca, la mojana, Colombia	28
Ilustración 14. Recuperación del río Bogotá	29
Ilustración 15. Parque sobre la llanura de inundación, Canadá	31
Ilustración 16. Centro Ambiental Brock, Virginia, US	32
Ilustración 17. Palafitos en nueva Venecia, Colombia	33
Ilustración 18. Ejemplos de construcciones resistentes a inundaciones	35
Ilustración 19. Esquema de funcionamiento de una Ciudad esponja.	37
Ilustración 20. Recomendaciones para prevenir inundaciones.	39
Ilustración 21. Estacion de control, sistema de alerta temprana del valle de Aburrá	43
Ilustración 22. Equipo de rescate acuático de Swift Water, Australia	45
Ilustración 23. Albergue temporal para damnificados por lluvias, Lambayeque, Perú	48

Tecnologías para el manejo del riesgo de inundaciones a diferentes escalas

Resumen

Esta monografía aborda las tecnologías utilizadas en el control de inundaciones, clasificándolas en cuatro grupos principales. Primero, se examinan las tecnologías diseñadas para reducir las probabilidades de inundación, como reforestación y control del uso de los suelos. Segundo, se analizan las tecnologías que controlan los volúmenes de inundación, incluyendo embalses y canales de desvío. Tercero, se exploran las tecnologías que aumentan la resiliencia ante inundaciones, tales como las infraestructuras verdes y las técnicas de urbanización sostenible. Finalmente, se describen las tecnologías destinadas a asistir a los damnificados y reparar los daños, como las plataformas de gestión de emergencias y compensaciones económicas. Además, se destaca la importancia de utilizar métodos que no impacten negativamente al medio ambiente, promoviendo soluciones sostenibles que integren la protección de los ecosistemas. Este enfoque integral subraya la importancia de una combinación de medidas preventivas y de respuesta para manejar eficazmente las inundaciones y mitigar sus impactos, asegurando al mismo tiempo la conservación del entorno natural.

Palabras clave: Inundaciones, Resiliencia, Desastres, Riesgo de inundación, Impacto ambiental, Estructuras de control

Abstract

This monograph addresses the technologies used in flood control, classifying them into four main groups. First, it examines technologies designed to reduce the likelihood of flooding, such as reforestation and land use control. Second, it analyzes technologies that manage flood volumes, including reservoirs and diversion channels. Third, it explores technologies that increase flood resilience, such as green infrastructure and sustainable urbanization techniques. Finally, it describes technologies aimed at assisting those affected and repairing damage, such as emergency management platforms and economic compensations. Additionally, it highlights the importance of using methods that do not negatively impact the environment, promoting sustainable solutions that integrate ecosystem protection. This comprehensive approach emphasizes the importance of combining preventive and responsive measures to effectively manage floods and mitigate their impacts while ensuring the conservation of the natural environment.

Keywords: Floods, Resilience, Disasters, Flood risk, Environmental impact, Control structures

1. Introducción

Las inundaciones pueden ser devastadoras y, a menudo, se comparan con otros desastres naturales en todo el mundo debido a que tienen la mayor cantidad de víctimas y las mayores pérdidas económicas. Basándonos en estudios sobre inundaciones, se presentan los siguientes datos (Thomas et al., 1999). Un tercio de las catástrofes naturales incluyen algún tipo de inundación, una de cada diez muertes por desastres naturales está relacionada con inundaciones. Un alarmante 95-97% de las pérdidas humanas debido a desastres naturales en los países en desarrollo son causadas por inundaciones. Causan a la economía global miles de millones de dólares en pérdidas. El impacto de las inundaciones puede variar en todo el mundo debido a razones geográficas, agrícolas y económicas. Las llanuras de inundación del Nilo, el Mekong y el bajo Indo se utilizan eficientemente para necesidades agrícolas, mientras que el riesgo de inundaciones es en gran medida ignorado por la creciente población y las actividades industriales de los países tanto en vía de desarrollo como desarrollados (Hassan et al., 2017). Sin embargo, algunos estudios respaldan la gravedad de las inundaciones, y en los últimos años (Aronica et al., 2012), la frecuencia de estas ha aumentado. Las situaciones de inundación tienden a empeorar con el cambio climático, la subsidencia del suelo, la urbanización y el crecimiento poblacional (Tellman et al., 2021) (CRED and UNISDR, 2020).

El problema y sus soluciones no son nuevos, pero la demanda de una gestión de inundaciones más eficiente y efectiva es evidente con la creciente conciencia ambiental. Además, la gestión de inundaciones es un fenómeno complejo que debe revisarse y adaptarse constantemente debido al surgimiento de nuevas tecnologías y al mayor entendimiento de fenómenos hidrometeorológicos (Plate, 2002).

Actualmente se han propuesto una variedad de estrategias, conceptos e iniciativas variadas, tales como:

Soluciones basadas en la naturaleza: renaturalización de ríos, recarga de acuíferos.

Medidas estructurales: diques, muros de contención, desvío de cauces de los ríos, almacenamiento y retención de aguas lluvias, sistemas de drenaje sostenible

Enfoques en mejorar la resiliencia de las comunidades: aprender a convivir con inundaciones, sistemas de alerta temprana, concientización pública, esfuerzos de ayuda comunitaria, zonificación de riesgos de inundación, restauración de llanuras de inundación, modificaciones en la planificación urbana, cooperación comunitaria.

Soluciones enfocadas en la economía: seguros contra inundaciones, compensaciones económicas.

El presente trabajo se enfoca en presentar las diferentes y más comunes formas de manejo de inundaciones que se usan en la actualidad. Está fuera del alcance de este proyecto explicar las formas de implementar o calcular estos diferentes métodos, ni se pretende esclarecer cómo escoger un método sobre otro. Su objetivo principal es únicamente ilustrar su funcionamiento y proporcionar una visión general acerca de estrategias que pueden ser empleadas en el control de riesgo de inundaciones.

2. Clasificación de medidas para el manejo de inundaciones

El manejo de inundaciones es una tarea multifacética que requiere un enfoque integral para proteger a las comunidades y minimizar los daños. Para abordar este desafío, las medidas de control de riesgo de inundaciones pueden clasificarse en cuatro categorías principales. Primero, las medidas para la reducción de probabilidades de inundación, que buscan disminuir la magnitud de las inundaciones mediante la creación de sistemas para la recolección de aguas lluvias y la gestión de recursos hídricos. En segundo lugar, las medidas para el control de la intensidad de inundación, que incluyen acciones preventivas como la construcción de infraestructuras de drenaje y la implementación de barreras físicas. Tercero, las medidas para reducir la vulnerabilidad de una comunidad ante inundación, enfocadas en fortalecer la resiliencia de las comunidades a través de la planificación urbana y la educación pública. Finalmente, los planes de manejo para recuperación y reparación de daños se centran en estrategias de respuesta rápida y efectiva para restaurar las áreas afectadas y apoyar a las poblaciones impactadas, asegurando una recuperación sostenible y eficiente tras un evento de inundación (Tariq et al., 2020).

2.1. Medidas para la reducción de probabilidades de inundación

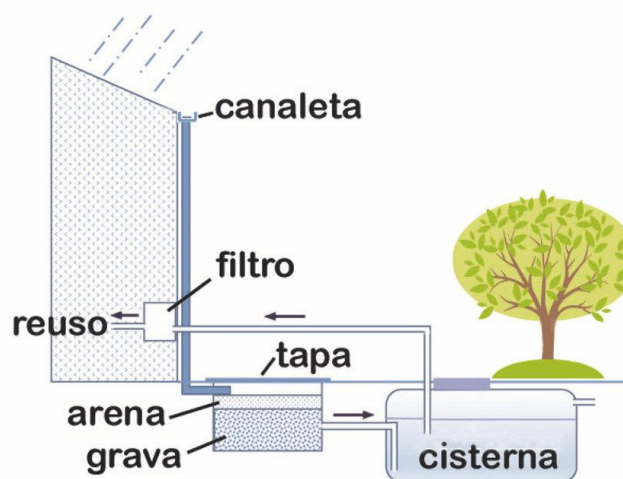
En la actualidad, la implementación de medidas para la minimizar las probabilidades de inundación se ha convertido en práctica esencial para mitigar los riesgos asociados a estos eventos naturales. Adoptar técnicas como la recolección de lluvia, la reforestación,

el manejo adecuado de los suelos y la recarga de aguas subterráneas no solo constituye una respuesta efectiva, sino también una responsabilidad ambiental y comunitaria. Estas prácticas no solo buscan prevenir la ocurrencia de inundaciones, sino también promover un entorno sostenible y resiliente frente a los desafíos climáticos actuales. Al implementar estas medidas de manera coordinada y estructurada, se establece un camino hacia una gestión de riesgos integral, asegurando la protección de vidas, bienes y ecosistemas (Tariq et al., 2020).

2.1.1. Recolección de aguas lluvia

En el pasado, la recolección de agua de lluvia para su uso en el hogar han sido prácticas muy comunes en diferentes partes del mundo. Dado que el rápido desarrollo de las áreas urbanas y el crecimiento de la población, junto con el cambio climático, el cual afecta los recursos hídricos disponibles en muchas regiones, se reconoce ampliamente la importancia de recolectar agua de lluvia para satisfacer parcialmente la demanda de agua doméstica. En el contexto del creciente estrés hídrico, la instalación de sistemas de recolección de aguas lluvias (RWH, por sus siglas en inglés) representa una solución valiosa y efectiva para reducir el consumo de agua potable en usos domésticos (Al-Batsh et al., 2019; Ammar et al., 2016), no solo en áreas áridas y semiáridas (Taffere et al., 2016), sino también en áreas urbanas (Petit-Boix et al., 2018). El uso de estos sistemas tiene beneficios adicionales, como la retención de inundaciones por eventos de lluvia y el control consecuente del volumen de aguas pluviales (Coombes & Barry, 2008; Steffen et al., 2013).

Ilustración 1. Ilustración de un sistema de tanque enterrado para recolección de aguas lluvia con un.



Nota: (2014), Captación Pluvial: Una alternativa sustentable - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Esquema-de-un-sistema-de-captacion-de-agua-de-lluvia-en-tanque-enterrado-El_fig2_279203906

En diversos estudios se ha demostrado que, en cuencas urbanas, la instalación extensiva de tanques de RWH podría ser un apoyo eficiente para reducir la frecuencia y el pico de las inundaciones por aguas pluviales. En Inglaterra (Geroling te al., 2021), Gerolin y colaboradores utilizaron un enfoque de modelado de series temporales para cuantificar la reducción de inundaciones relacionada con tanques de RWH instalados en tres ubicaciones para una amplia gama de escenarios. Este estudio destacó que, cuando el suministro anual promedio es menor que la demanda anual de los hogares, un aumento en el tamaño del tanque de RWH conduce a una mayor retención de inundaciones y a la reducción del volumen y el pico de las inundaciones.

Para los tanques de RWH instalados en el distrito residencial de Nanjing (China) (Zhang et al., 2012), Zhang y colaboradores encontraron que el sistema tiene un buen rendimiento en la mitigación de problemas de anegamiento urbano, reduciendo el

volumen de inundaciones en un 13.9%, 30.2% y 57.7% en los casos de máxima lluvia diaria, máxima lluvia diaria promedio anual y lluvia crítica, respectivamente.

Campisano y Modica investigaron el potencial de un sistema de RWH, instalado en una pequeña ciudad situada en Sicilia (Italia del Sur), para reducir el flujo máximo durante eventos de tormenta. Los resultados mostraron que, dependiendo de la capacidad del tanque y las características de la lluvia, el tanque de RWH es capaz de reducir el pico de intensidad de la lluvia en un gran número de eventos de tormenta (Campisano & Modica, 2015). Más recientemente, Teston y colaboradores evaluaron el impacto de los sistemas de RWH en la reducción de inundaciones en un condominio de casas en Curitiba (Brasil del Sur) en diferentes escenarios, encontrando una reducción del flujo máximo, aunque el impacto del sistema de RWH en el drenaje se ve afectado por algunos factores relacionados con los edificios, la capacidad del tanque, las características de la lluvia y el uso del suelo (Teston et al., 2018).

Los sistemas de recolección de aguas lluvias representan una solución eficaz y multifacética para el control de inundaciones. Su capacidad para reducir el escurrimiento superficial, almacenar y liberar agua de manera controlada, y fomentar la infiltración en el suelo, los convierte en una herramienta valiosa en el control de las inundaciones. Además, los beneficios adicionales en términos de conservación de agua, reducción de la contaminación y ahorro energético subrayan la importancia de integrar estos sistemas en las estrategias de gestión del agua (Smart water, 2024).

2.1.2. Reforestación

La reforestación de los cauces de ríos para el control de inundaciones es una técnica que consiste en plantar árboles y vegetación alrededor de ríos y arroyos. Esta práctica busca ralentizar la afluencia de agua de lluvia hacia los cuerpos de agua principales, reduciendo así la velocidad de flujo y el volumen mínimo de agua que causaría inundaciones. Al posibilitar la infiltración del agua y posteriormente su gradual liberación, la reforestación ayuda a mitigar el impacto de las lluvias intensas y protege las áreas urbanas y rurales de los daños causados por las inundaciones (Fercher et al., 2018).

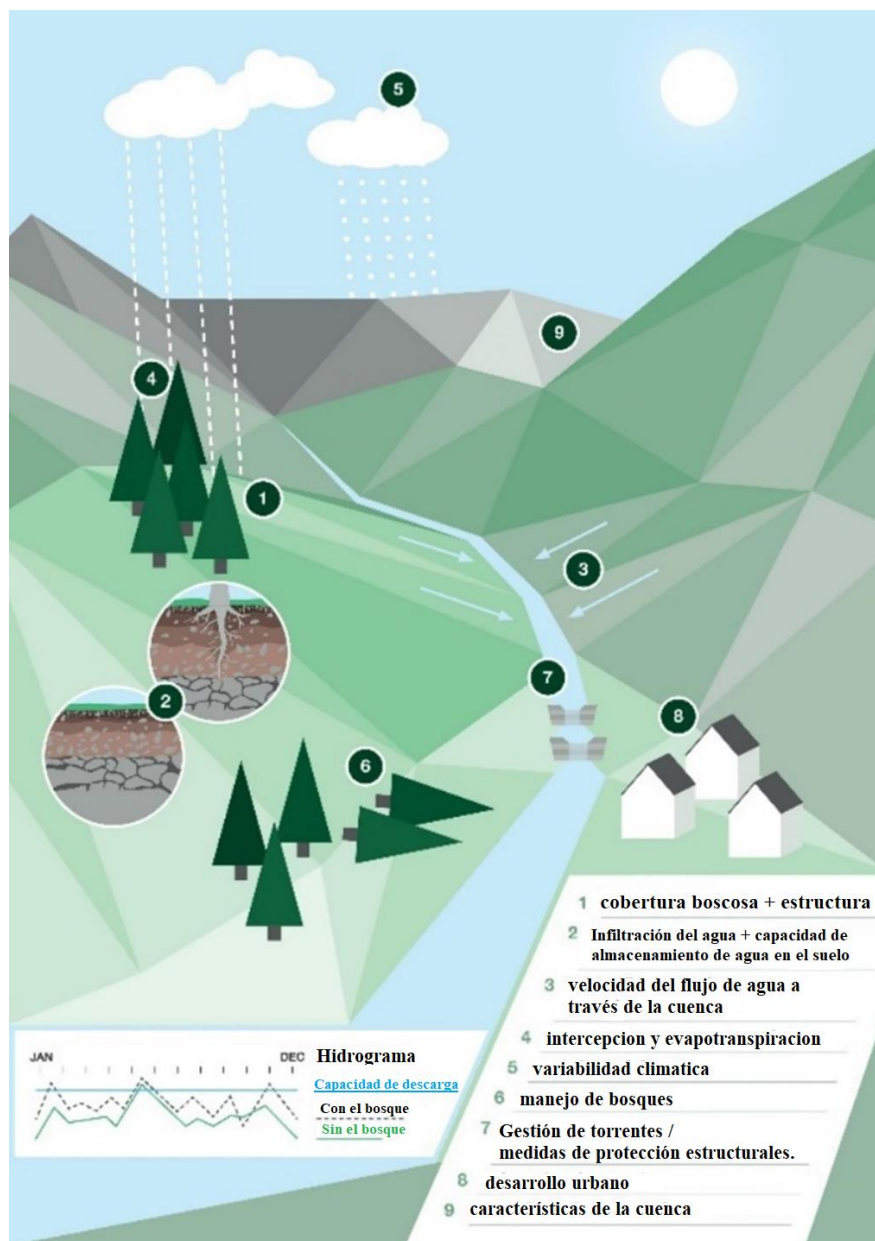
El impacto de la cobertura forestal en el régimen hidrológico ha sido durante mucho tiempo objeto de estudio. Todos coinciden en que la cobertura vegetal influye en los efectos de los eventos de lluvia (Fercher et al., 2018), distinguiéndose tres mecanismos reguladores (Ilustración 2, puntos 2-4):

- i. aumento de la infiltración de agua en los suelos
- ii. mayor capacidad de almacenamiento de agua en los suelos
- iii. disminución en la velocidad de circulación del agua mediante una mayor evapotranspiración y trayectorias más largas del flujo a través de la cuenca (Rüegg et al., 2022).

Estos mecanismos están relacionados, ya que una mayor porosidad del suelo, con más micro- y macroporos debido a las raíces de los árboles, permite una infiltración más rápida y profunda (Vereecken et al., 2016). Además, las raíces de los árboles pueden extraer agua del suelo más profundo en comparación con otras coberturas vegetales (Moore & Heilman, 2011). La interceptación de la precipitación por las hojas aumenta la

longitud de las trayectorias del flujo de agua, disminuyendo así la cantidad de agua para la infiltración en un momento dado, y la evaporación durante los períodos secos elimina hasta 5-20 mm de precipitación que, de otro modo, podría ingresar al arroyo.

Ilustración 2. Factores que influyen en la escorrentía a escala de cuenca.



Note: (Rüegg et al., 2022) An Approach to Evaluate Mountain Forest Protection and Management as a Means for Flood Mitigation (ilustración), recuperado de, <https://www.frontiersin.org/journals/forests-and-global-change/articles/10.3389/ffgc.2022.785740/full> Tecnologías para el manejo del riesgo de inundaciones a diferentes escalas

Un estudio realizado por las universidades de Birmingham y Southampton en el reino unido para la Agencia de Medio Ambiente sugiere que plantar árboles en las cercanías de los ríos podría reducir la intensidad de las inundaciones en centros poblados hasta en un 20%. Se recomienda un enfoque estratégico, forestando áreas específicas alrededor de arroyos tributarios, lo que permite que el agua se libere gradualmente. Aunque implementar estas medidas a gran escala presenta desafíos, la reforestación demuestra ser un método eficaz para la prevención de inundaciones (Dixon et al., 2016).

2.1.3. Conservación del suelo

La conservación del suelo en el control de inundaciones implica prácticas y técnicas para mantener y mejorar la estructura y la capacidad para almacenar agua del suelo. Esto incluye métodos como evitar la erosión restaurando la cobertura vegetal y el uso de terrazas, que contribuye a aumentar la infiltración de agua y reducir la escorrentía superficial. Al mejorar la capacidad del suelo para absorber y almacenar el agua de lluvia, estas prácticas disminuyen el riesgo y la intensidad de las inundaciones, protegiendo así las áreas vulnerables (Nicholson et al., 2020).

El aumento de las zonas de cultivo acelera la erosión hídrica natural del suelo, provocando que los ríos y escurrimientos arrastren partículas con facilidad. Estas partículas se depositan en zonas bajas o de poca pendiente, disminuyendo la capacidad de carga de los ríos y aumentando la frecuencia de desbordamientos. Además, los cambios en el uso del suelo en una cuenca hidrográfica afectan los volúmenes de escurrimiento (Antolini et al., 2020). Al reducirse las áreas naturales, los volúmenes de agua aumentan

en las salidas de las cuencas, lo que puede afectar infraestructuras como puentes o bordos en periodos cortos.

La planificación del uso del suelo y su conservación deben basarse en el manejo integral de cuencas. Esto garantiza el desarrollo sostenible al gestionar racionalmente los recursos naturales, especialmente el suelo, el agua y la vegetación. En un nivel local, la planificación del uso del suelo protege áreas de captación, abastece de agua a la comunidad y previene inundaciones frecuentes (Mitchell et al., 2018).

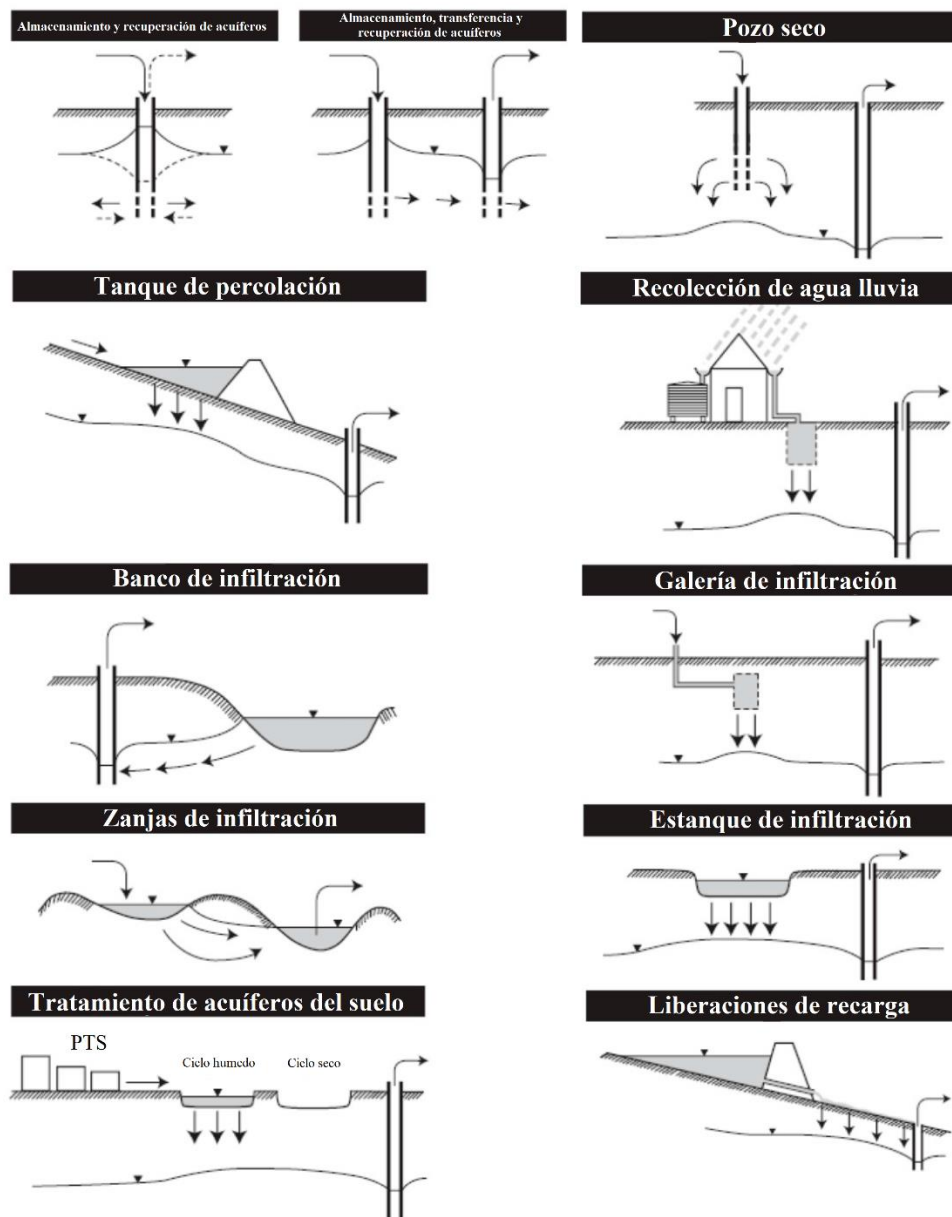
2.1.4. Recarga de aguas subterráneas

La recarga de aguas subterráneas es esencial para mantener el equilibrio hídrico y prevenir inundaciones. Este proceso consiste en permitir que las aguas lluvia y la escorrentía se infiltren en el suelo, reponiendo los acuíferos subterráneos. Al aumentar la capacidad del suelo para absorber y almacenar agua, se reduce la cantidad de agua superficial que puede causar inundaciones. Prácticas como la construcción de zanjas de infiltración y la restauración de humedales son métodos efectivos para fomentar la recarga de aguas subterráneas, contribuyendo a un manejo hídrico sostenible y a la mitigación de inundaciones (Bouwer, 2002).

Existe una amplia gama de métodos disponibles para la recarga de aguas subterráneas en diferentes entornos, adaptados a las diversas condiciones locales. Estos pueden ser de tipos: técnicas de inyección en pozos generalmente adecuadas para acuíferos más profundos y confinados e igualmente técnicas de infiltración para la recarga de acuíferos no confinados. La selección de sitios adecuados para la recarga gestionada de acuíferos y la elección del método dependerán de la hidrogeología,

topografía, hidrología y usos del suelo de una determinada área. Además, factores socioculturales y normativos pueden influir, así como el tipo y disponibilidad del agua de origen (Page et al., 2018).

Ilustración 3. Esquema de los tipos de Recarga Artificial de Acuíferos (MAR)



(Page et al., 2018) Managed Aquifer Recharge (MAR) in Sustainable Urban Water Management (illustration), recuperado de. <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/3/239>

2.2. Medidas para el control de la intensidad de inundación

El control de la intensidad de las inundaciones requiere la implementación de soluciones estructurales robustas, como reservorios, diques, desvíos de flujo, encauzamiento de ríos y dragado. Si bien estas medidas son ampliamente reconocidas y utilizadas, es crucial reconocer su potencial impacto ambiental. Estas soluciones no solo buscan reducir los efectos devastadores de las inundaciones, sino también manejar el flujo de agua de manera eficiente y predecible. Sin embargo, es imperativo abordar estas intervenciones con un enfoque equilibrado que considere los impactos a largo plazo en los ecosistemas locales y la biodiversidad. Al implementar estas medidas de manera responsable y sostenible, se puede asegurar una gestión efectiva de los riesgos de inundación sin comprometer la integridad ambiental de las áreas afectadas (Tariq et al., 2020).

2.2.1. Almacenamiento y reservorios de aguas lluvias

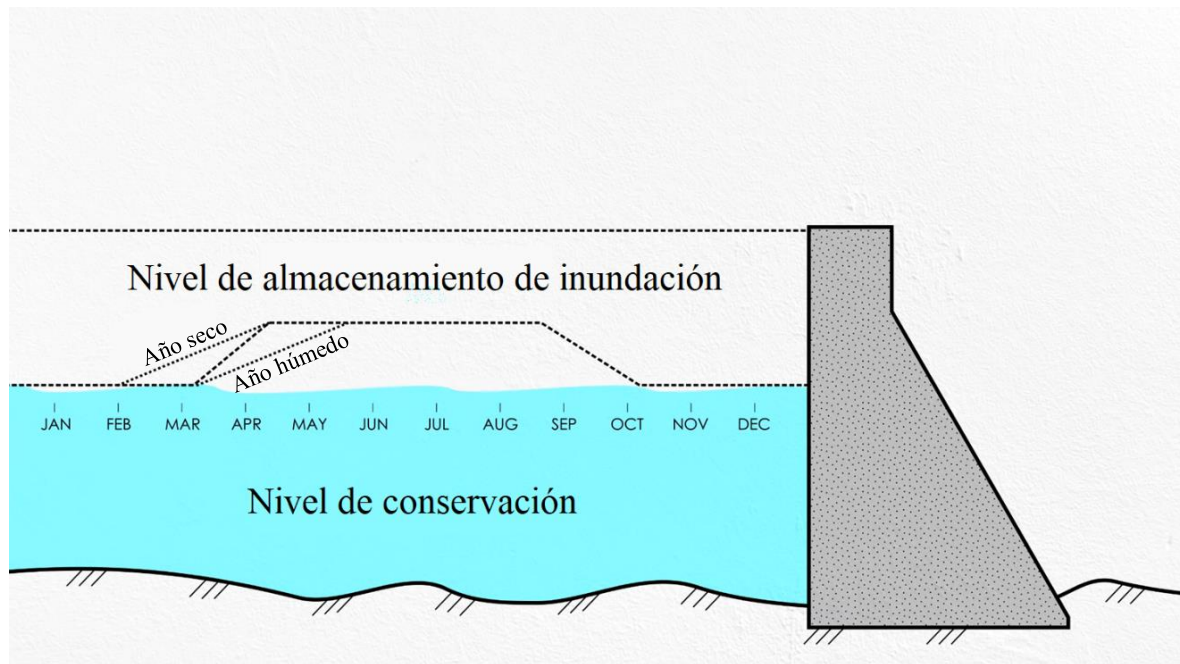
El almacenamiento y retención de aguas lluvias es una estrategia vital en el manejo de inundaciones, especialmente en áreas urbanas donde la impermeabilización del suelo aumenta la escorrentía superficial. Este enfoque implica la captura y el almacenamiento del agua de lluvia mediante infraestructuras como cisternas, estanques de retención y pavimentos permeables, que reducen la carga sobre los sistemas de drenaje y mitigan el riesgo de inundaciones.

A gran escala, se pueden implementar grandes reservorios, mejorando además la calidad del agua al filtrar contaminantes (Fletcher et al., 2015). Además, las represas

juegan un rol esencial en la captación de las crecientes de los ríos, controlando el flujo de agua y evitando que los niveles del río alcancen puntos críticos que puedan causar inundaciones. Al almacenar el exceso de agua durante periodos de lluvia intensa, las represas no solo previenen inundaciones aguas abajo, sino que también permiten un uso controlado y sostenido del agua durante épocas de sequía (Graf, 1999), esta capacidad de almacenamiento y regulación es crucial para proteger tanto áreas urbanas como rurales de daños potenciales causados por inundaciones. Además, las presas pueden integrarse con otros sistemas de gestión de aguas pluviales, como los embalses y los estanques de retención, para crear un enfoque multifacético de mitigación de inundaciones.

Si bien el volumen de agua generado por una inundación no puede ser modificado, con una capacidad de almacenamiento adecuada, es posible alterar el periodo durante el cual el agua es liberada al río. Así, grandes volúmenes de agua que ingresan a un embalse pueden ser liberados de manera gradual, reduciendo significativamente el riesgo de inundaciones aguas abajo. No obstante, no todas las presas están diseñadas específicamente para el control de inundaciones. Muchos embalses están destinados a mantenerse llenos para su utilización en generación de energía hidroeléctrica, abastecimiento urbano o riego agrícola. En situaciones donde un embalse de abastecimiento se encuentra vacío durante una inundación, puede actuar de manera efectiva como un embalse de control de inundaciones. Por el contrario, si el embalse está lleno, es necesario abrir las compuertas para permitir el paso del agua (Hillhouse, 2021).

Ilustración 4. Niveles de agua en el funcionamiento de reservorios e hidroeléctricas.



(Hillhouse, 2021) How Do Flood Control Structures Work?, (imagen), recuperado de,
<https://www.youtube.com/watch?v=5mCJh5SJEis&t=458s>

En numerosos casos, una presa puede cumplir múltiples funciones simultáneamente, mediante la creación de distintas zonas de almacenamiento o “Niveles” dedicadas a usos específicos. Un nivel se mantiene lleno para poder continuar generando energía o mantener el suministro de agua, mientras que otro se mantiene vacío para el almacenamiento temporal durante eventos de inundación. La determinación del equilibrio óptimo entre el almacenamiento lleno y vacío es un desafío complejo que considera factores como el clima, las condiciones meteorológicas y la capacidad máxima de flujo que puede ser liberada sin causar daños a las propiedades aguas abajo. Algunas presas ajustan el tamaño de estos pools de acuerdo a la estacionalidad de las inundaciones y

utilizan indicadores de riesgo, como la profundidad del manto de nieve en la cuenca, para ajustar dinámicamente el volumen disponible para almacenar potenciales inundaciones (Hillhouse, 2021).

Esta práctica ya se ha utilizado en otros países como China, Vietnam y Mozambique, donde la coordinación de embalses y el uso de información en tiempo real han demostrado ser efectivos en la mitigación de inundaciones. El control de inundaciones mediante embalses hidroeléctricos representa una solución integral que combina la generación de energía con la protección de las comunidades vulnerables. (Beilfuss, 2010; Dong et al., 2010; Ngo, 2006)

En Colombia, ya se han presentado estudios para el uso de plantas hidroeléctricas en el control de inundaciones planteándolo como una estrategia clave, especialmente durante la temporada de lluvias y fenómenos climáticos como "La Niña". Las hidroeléctricas aprovechan sus embalses para regular el flujo de agua, disminuyendo así el riesgo de inundaciones aguas abajo. Este método no solo ayuda a mitigar las consecuencias de las crecidas, sino que también optimiza la producción de energía eléctrica al gestionar adecuadamente los recursos hídricos. (Bedoya & López-Lezama, 2015)

2.2.2. Diques y muros de contención

El uso de diques y muros de contención ha sido una estrategia fundamental en la ingeniería para el control de inundaciones a lo largo de la historia. Estas estructuras están diseñadas para contener y redirigir el flujo de agua, protegiendo áreas vulnerables de los

trágicos efectos de las inundaciones. Los diques, que son barreras elevadas construidas paralelamente a cursos de agua, y los muros de contención, que son estructuras verticales reforzadas, funcionan como defensas pasivas que evitan el desbordamiento de ríos y arroyos durante eventos de lluvia intensa y crecidas (Petroski, 2006).

Ilustración 5. Dique a la orilla del Canal Interceptor Sur y del río Cauca, Cali, Colombia



(90 minutos, 2017), CVC culminó reforzamiento de dique que protege a Cali de posibles inundaciones (Fotografía), recuperado de, <https://90minutos.co/cali/cvc-culmino-reforzamiento-dique-protege-cali-inundaciones-30-11-2017/>

En Colombia, las estructuras más comúnmente empleadas para el control de inundaciones debido a su simplicidad de diseño, facilidad de construcción y bajo costo son los muros tipo cantiléver y los muros tipo gavión. Los muros tipo cantiléver, hechos de concreto reforzado, ofrecen una solución robusta y eficiente para soportar la presión del agua, mientras que los muros tipo gavión, contruidos con cestas de alambre rellenas de piedras, proporcionan una opción flexible y económica que se adapta bien a diferentes condiciones geográficas y ambientales. Estas estructuras se han vuelto en indispensables

componentes de la infraestructura hidráulica del país, contribuyendo significativamente a la protección de comunidades vulnerables y a la mitigación de los riesgos frente a inundaciones (Malaver, 2022).

Ilustración 6. Muro de contención sobre los ríos Tobia y Negro, Nimaima, Colombia



(CAR, 2023) CAR construyó muro de contención en el río Tobia para mitigar riesgo de inundaciones (Fotografía), recuperado de, <https://www.car.gov.co/saladeprensa/car-construyo-muro-de-contencion-en-el-rio-tobia-para-mitigar-riesgo-de-inundaciones>

El muro de contención conocido como cantiléver, está construido de concreto reforzado con acero y consiste en un muro esbelto y una base o zapata. Este tipo de muro resiste el empuje y mantiene su estabilidad gracias a su forma en "T". El peso ubicado sobre la zapata contribuye a oponerse a un vuelco pues incrementa la fricción entre el suelo-estructura, brindando una seguridad mayor contra deslizamientos. Por el contrario de los muros de gravedad, los muros cantiléver deben asegurar de igual manera la estabilidad externa y la interna para evitar fallas del suelo y del muro. La base o zapata del muro sostiene la estructura y resiste el vuelco y el deslizamiento causado por la carga lateral del suelo (Malaver, 2022).

Ilustración 7. Muro de gaviones



(Heredia, 2023) Ministerio de Obras Públicas construye muros de gaviones en Higüey para evitar inundaciones (Fotografía), recuperado de <https://www.diariolibre.com/actualidad/nacional/2023/08/28/obras-publicas-construye-muros-de-gaviones-en-higüey/2444830>

Por otra parte, los muros de gaviones se utilizan en la construcción de infraestructura para la protección contra la erosión, muros de contención de terraplenes para la estabilidad de taludes y estructuras hidráulicas. Estos muros presentan ventajas como porosidad, flexibilidad, resistencia, durabilidad, fiabilidad, facilidad de construcción y ecología. Conformados por celdas unidad disponibles en longitudes de 2, 3 y 4 metros, anchos de 1 metro y alturas de 1 metro, subdivididas en celdas de 1 metro cuadrado cada una. Generalmente, los gaviones se rellenan con piedras resistentes a la intemperie (Chung & International Society of Offshore and Polar Engineers, 2001).

A pesar de que los diques son una opción efectiva para la protección contra inundaciones, presentan problemas significativos al modificar el terreno y afectar las

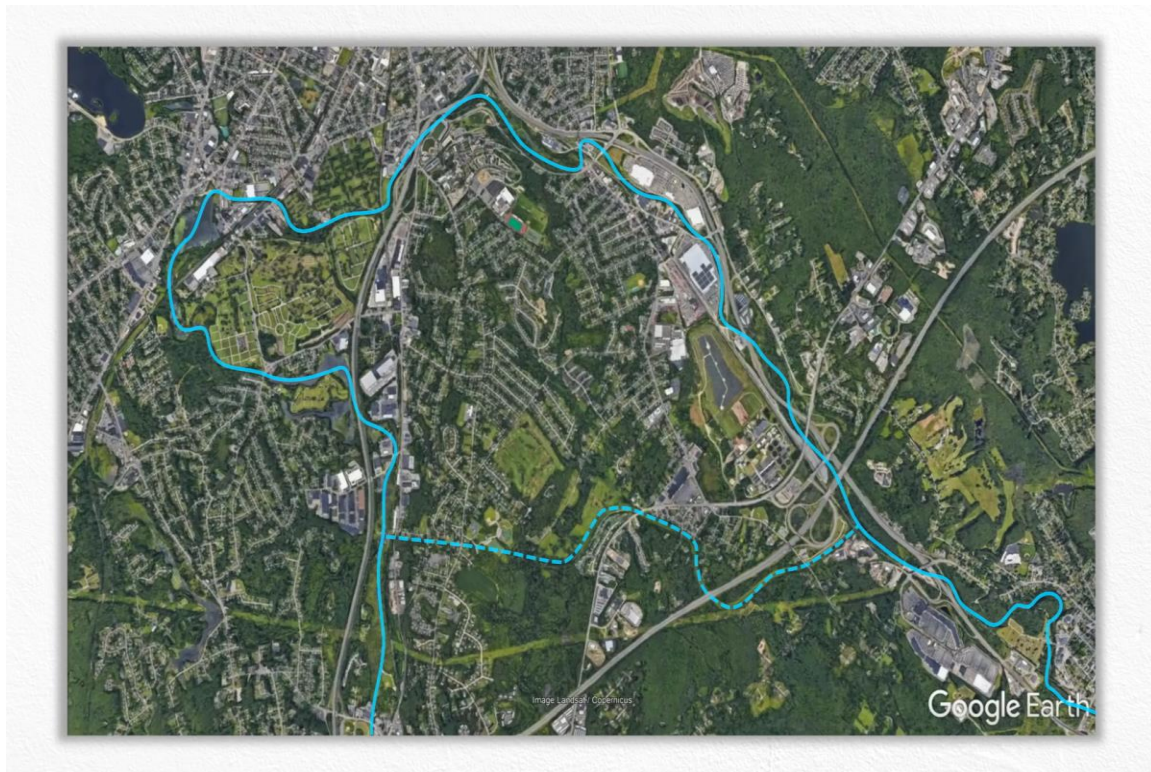
Tecnologías para el manejo del riesgo de inundaciones a diferentes escalas

funciones naturales de las llanuras de inundación. Los diques interfieren con los flujos naturales de agua y materiales, reducen la biodiversidad y la abundancia de hábitats (Knox et al., 2022), en su estudio sobre el impacto de los diques en los ecosistemas Knox habla sobre como estas estructuras solo nos desconectan de el ecosistema de la necesidad de buscar soluciones alternativas que respeten los procesos naturales y las llanuras de inundación.

2.2.3. Desvío del flujo

Un canal de derivación o vía de inundación es un canal artificial construido para proporcionar una ruta alternativa por la cual el exceso de agua pueda fluir, mitigando así los efectos de las inundaciones y manteniendo los ríos a su nivel natural de agua. Normalmente, los canales de derivación se construyen alrededor de comunidades o centros económicos para prevenir daños extensos por inundaciones (Hillhouse, 2021).

Ilustración 8. Canal de derivación



(Hillhouse, 2021) How Do Flood Control Structures Work?, (imagen), recuperado de,
<https://www.youtube.com/watch?v=5mCJh5SJEis&t=322s>

En la ilustración 8 podemos observar una imagen satelital de un canal de desviación alrededor de un centro poblado en la que la línea celeste continua representa el cauce normal del río y la línea punteada indica el camino del canal de desviación por el que el exceso de flujo en una inundación se desvía en caso de un evento extremo, protegiendo las áreas urbanas y reintegrando este exceso aguas abajo (Hillhouse, 2021).

Ilustración 9. Canal de derivación en el “Red river”, Alberta, Canadá



(Alberta WaterPortal society, 2023) Flood Mitigation: Diversion Channel (Fotografía), recuperado de <https://albertawater.com/flood-mitigation/diversion-channel/>

Por ejemplo, el Canal de Derivación del Río Rojo en Manitoba (Ilustración 9) es una vía acuática artificial construida alrededor de la Ciudad de Winnipeg. Durante la primavera, cuando los niveles de agua son altos, el agua de inundación se desvía por este canal y se une nuevamente al Río Rojo más abajo (Alberta WaterPortal society, 2023).

Sin embargo estas estructuras no están carentes de problemas, aguas abajo los impactos ambientales se hacen evidentes, pues los canales para derivación incluyen la pérdida de hábitat debido a cambios en los flujos, la pérdida de humedales y planicies de inundación, la fragmentación del hábitat para especies acuáticas y vida silvestre, y los impactos en la biodiversidad de la región (World Meteorological Organization, 2006).

Los canales de derivación, al igual que las presas, interrumpen el flujo natural de los ríos y la función de las planicies de inundación. Por ejemplo, la Derivación de Portage utilizada en Manitoba durante la temporada de inundaciones protege a la gran ciudad de Winnipeg; sin embargo, puede ocurrir inundaciones donde se desvían las aguas, especialmente en la región cercana al lago Manitoba (Government of Manitoba, 2013). Por lo tanto, el aumento del flujo de una cuenca hidrográfica puede desviarse hacia otra cuenca hidrográfica, potencialmente causando inundaciones en otra región.

2.2.4. Encauzamiento o canalización del río

El ser humano comenzó a intentar controlar los ríos en gran parte de Europa a partir del siglo XVIII con el objetivo de dominar y alterar la naturaleza. La canalización de un río implica principalmente la eliminación de la vegetación ribereña y, en muchos casos, la modificación de su curso original, eliminando curvas y meandros, transformándolo en un canal casi rectilíneo rodeado por terraplenes longitudinales de tierra e incluso paredes de hormigón. Estas canalizaciones se hicieron para ganar espacio al río, especialmente en su planicie de inundación, y proteger las poblaciones y los campos adyacentes de inundaciones potenciales. (Santiago, 2022).

Ilustración 10. Encauzamiento de un arroyo, Mallorca, España



(SIM, 2024), Encauzamientos (Fotografía), recuperado de <https://simingenieros.es/proyectos-y-servicios/encauzamientos/>

Hoy en día, la canalización de ríos sigue siendo una herramienta esencial en el control de riesgos de inundaciones, tal y como podemos observar en la ilustración 10 en la que se observa un trabajo reciente de encauzamiento de un arroyo llevado a cabo por una firma de ingenieros en Mallorca, España. Esta técnica permite gestionar de manera efectiva el caudal de los ríos, reduciendo de esta manera el riesgo de desbordamientos en áreas urbanas y agrícolas. Al canalizar un río, se mejora su capacidad de conducción de agua, especialmente durante eventos de precipitaciones extremas, disminuyendo la posibilidad de inundaciones catastróficas. Además, la canalización facilita la implementación de infraestructuras adicionales, como compuertas y estaciones de bombeo, que optimizan aún más el control y la gestión del agua fluvial (Lam, 2023).

Ilustración 11. Canalización de un río, Toronto, Canadá



(Lam, 2023), What stops rain from flooding your city? (Fotografía), recuperado de,
https://www.youtube.com/watch?v=coXe8_xnAOs&t=350s

Sin embargo, la canalización de ríos tiene importantes impactos ambientales. La transformación de los ríos en canales rectilíneos puede alterar significativamente los ecosistemas acuáticos y ribereños. La supresión de la vegetación de la orilla y la modificación del curso natural del río reducen la biodiversidad, afectando a numerosas especies de animales y plantas que necesitan de estos hábitats. Además, la pérdida de meandros y curvas naturales disminuye la capacidad del río para auto-purificarse y almacenar agua, lo que puede incrementar la contaminación y la erosión del suelo. La interrupción de las llanuras de inundación también afecta la retención de nutrientes e interrumpe la recarga de acuíferos, esenciales para la salud ecológica de la región (Kondolf & Micheli, 1995).

En Colombia muchas organizaciones ambientales se oponen al encauzamiento y canalización de ríos, abogando en cambio por la renaturalización de los cauces naturales para recuperar los ecosistemas, por ejemplo, en el 2020 mientras la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) trabajaba en proyectos de acondicionamiento hidráulico para mejorar su capacidad y prevenir inundaciones en el río Teusacá, un cuerpo de agua importante en la cuenca alta del río Bogotá, se generó controversia. La realización de las obras suscitó inquietudes entre los habitantes, defensores del medio ambiente y concejales, quienes cuestionaron la falta de investigaciones sobre la flora, fauna y servicios ecosistémicos, así como la desnaturalización del río y la falta de socialización del proyecto (Semana, 2020).

Juan Pablo Ruiz, columnista en El Espectador, nos relata cómo años recientes, se tomó la decisión de terminar de “destruir” el río Bogotá para prevenir las inundaciones. Se efectuó la "adecuación hidráulica" respaldado por Banco Mundial, en la que el antiguo río se transformó en un canal para desagüe entre Cota y Alicachín. La obra ayudó a miles de personas a evitar inundaciones. Cualquier otra alternativa en esa zona del río sería extremadamente costosa, ya que requeriría la reubicación de numerosos residentes (Ruiz, 2021).

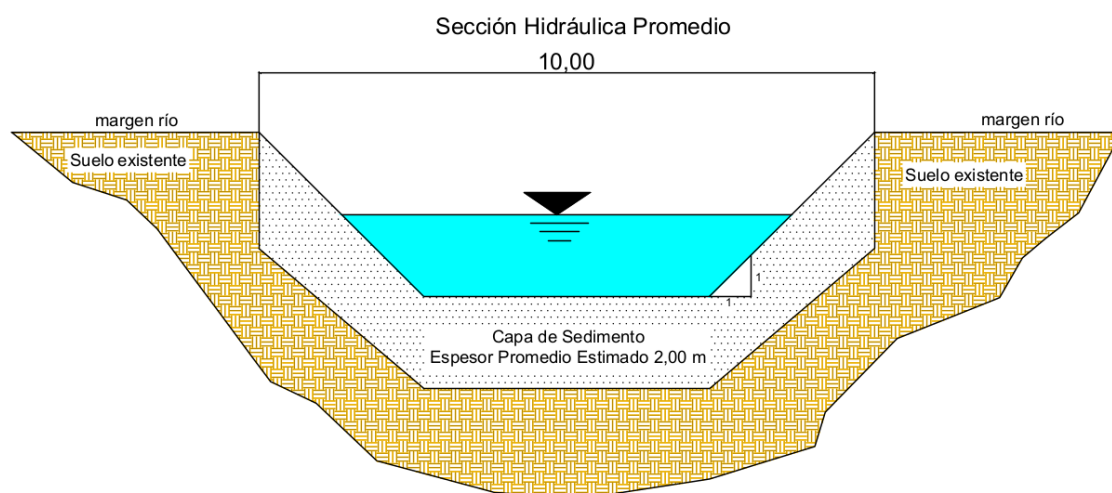
2.2.5. Mejora de capacidad de flujo (Dragado)

El dragado de ríos es una técnica ampliamente utilizada en el control de inundaciones, que consiste en la excavación y remoción de sedimentos del lecho del río para aumentar su capacidad de flujo y mejorar la navegabilidad. Esta práctica, esencial en

la gestión hidráulica, se implementa para prevenir desbordamientos durante eventos de lluvias intensas, reduciendo así el riesgo de daños en áreas urbanas y rurales adyacentes (Ågren et al., 2007).

El proceso de dragado implica la utilización de maquinaria especializada para extraer sedimentos, arena y otros materiales acumulados, restaurando la profundidad y el ancho originales del cauce. Además de su función en el control de inundaciones, el dragado puede mejorar la calidad del agua y permitir el resurgimiento de los hábitats acuáticos, al eliminar contaminantes y aumentar la capacidad del río para transportar sedimentos de manera eficiente (Petts, 1984). Sin embargo, es fundamental considerar los impactos ambientales de esta práctica, como la alteración de hábitats y la posible redistribución de contaminantes (Simons & Şentürk, 1992)

Ilustración 12. Sección de río antes del dragado.



(Sánchez, 2020) CANALIZACIÓN DE RÍOS EN EL CANTÓN DE GUATUSO (Ilustración), Recuperado de, https://muniguatuso.go.cr/images/2020_RIGOS/Docs_Rigos/CNE-UIAR-INF-0300-20_ALAJUELA-GUATUSO-SAN_RAFAEL-INTERVENCION_DE_VARIOS_CAUCES-FD.pdf

En la ilustración podemos observar la sección típica de un río, y como en su lecho lentamente se va acumulando la sedimentación mediante un proceso llamado agradación, reduciendo así drásticamente la capacidad de descarga del río, reduciendo su profundidad, aumentando el ancho de su sección transversal y haciéndolo mucho más propenso a desbordamiento, el proceso de dragado se encarga de retirar esta capa de sedimento y materia orgánica como hojas y ramas, mejorando así su navegabilidad y su capacidad de flujo (Awang Ali et al., 2017).

El balance entre los beneficios del dragado y sus efectos adversos requiere una planificación cuidadosa y la implementación adecuada de las medidas de mitigación asegurando así la sostenibilidad de los ecosistemas fluviales (Kondolf & Micheli, 1995), por ejemplo la zona conocida como de LA MOJANA, Colombia, enfrenta frecuentes inundaciones debido a la unión de los ríos San Jorge, Cauca y Magdalena. Durante la temporada de lluvias, el desbordamiento de estos ríos inunda extensas áreas, afectando a comunidades, infraestructuras y actividades agrícolas. La situación se agrava por la acumulación de sedimentos, la deforestación y la falta de infraestructuras adecuadas.

Luego de años luchando por una solución finalmente en noviembre del 2021 comenzaron las obras de dragado para el retiro de sedimentos del lecho del río Cauca, entre polémicas y cuestionamientos sobre su efectividad las obras continuaron aun con fuertes lluvias (Barrios, 2021), sin embargo esto se mostrarían ineficaces pues tal y como se observa en la ilustración 13 compartida por la gobernación de Sucre, el río Cauca continuaba desbordándose, tan pronto como en mayo del 2022 la comunidad de Cara de Gato, Sucre, se vio enfrentando efectos secundarios adversos debido a los trabajos de

dragado que, en vez de solucionar las inundaciones, las estaban empeorando, denunciando que el material removido cae al río Cauca, aumentando las inundaciones y afectando a las comunidades rurales (Barrios, 2022).

Ilustración 13. Desbordamiento del río cauca, la mojana, Colombia



(Semana, 2022) Once municipios de La Mojana en riesgo de desastre por inundaciones (Fotografía), Recuperado de, <https://www.semana.com/nacion/articulo/en-riesgo-de-desastre-once-municipios-de-la-mojana-por-inundaciones/202213/>

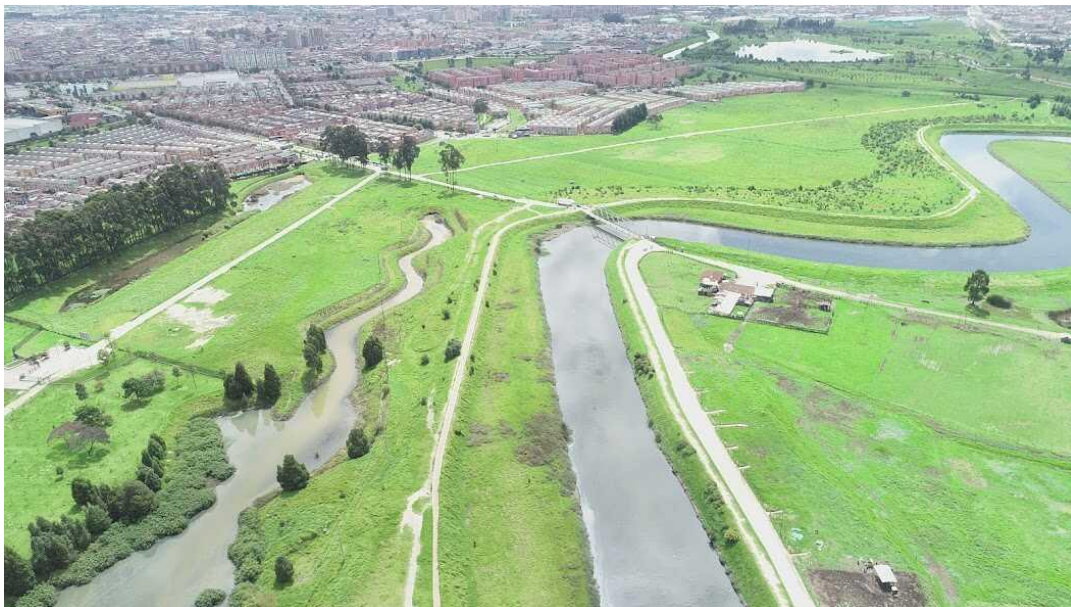
Aun a la fecha de este informe la zona continua presentando problemas de inundación experimento como los trabajos de dragado fueron inefectivos para brindarles una solución permanente, con la nueva ola invernal afectando el funcionamiento normal de los pobladores esto piden la mejora de infraestructuras básicas como colegios para lidiar de una mejor forma con las inundaciones frecuentes (Hernandez, 2024).

2.3. Medidas para la reducción de la vulnerabilidad ante inundación

2.3.1. Restauración de llanuras de inundación

La recuperación de las planicies de inundación es una estrategia cada vez más común en el control de inundaciones y la gestión de recursos hídricos, que busca devolver a estas áreas su capacidad natural para almacenar y regular el flujo de agua. Las planicies de inundación son los terrenos próximos a ríos y cuerpos de agua que, durante eventos de altas precipitaciones, se inundan temporalmente, mitigando los impactos de las crecidas al dispersar y absorber el exceso de agua (Opperman et al., 2010)

Ilustración 14. Recuperación del río Bogotá



(Secretaría de ambiente, 2022) Así avanza la recuperación del río Bogotá (Fotografía), recuperado de, https://www.ambientebogota.gov.co/nota-principal/-/asset_publisher/vRkc1u7VgGg4/content/asi-avanza-la-recuperacion-del-rio-bogota

El proceso de recuperación de las llanuras de inundación implica la reconfiguración del terreno para eliminar barreras artificiales, como diques y terraplenes,

y la reintroducción de vegetación nativa (Ilustración 14). Estas acciones permiten que el agua se extienda sobre una mayor área, reduciendo la velocidad y la fuerza de las corrientes, lo cual reduce el riesgo de inundaciones aguas abajo (Palmer et al., 2005). Además, la restauración mejora la calidad del agua y la biodiversidad, debido a que humedales y las áreas inundadas proporcionan hábitats críticos para numerosas especies de flora y fauna (Tockner & Stanford, 2002)

La implementación de proyectos de recuperación de las llanuras de inundación requiere una planificación cuidadosa y la colaboración de múltiples partes interesadas, incluyendo autoridades locales, comunidades y científicos. Si bien estos proyectos no solo ofrecen beneficios en términos de control de inundaciones, sino que también contribuyen a la resiliencia ecológica y la sostenibilidad a largo plazo de las cuencas hidrográficas (Kondolf, 2006), también puede encontrar resistencia por parte de las poblaciones locales y de los poseedores de tierras, quienes pueden tener preocupaciones sobre la pérdida de sus tierras agrícolas y prohibiciones en el uso del suelo (Nienhuis & Leuven, 2001). La necesidad de negociar y obtener acuerdos entre múltiples partes interesadas, incluyendo gobiernos, organizaciones no gubernamentales y la población local, añade otra capa de complejidad al proceso.

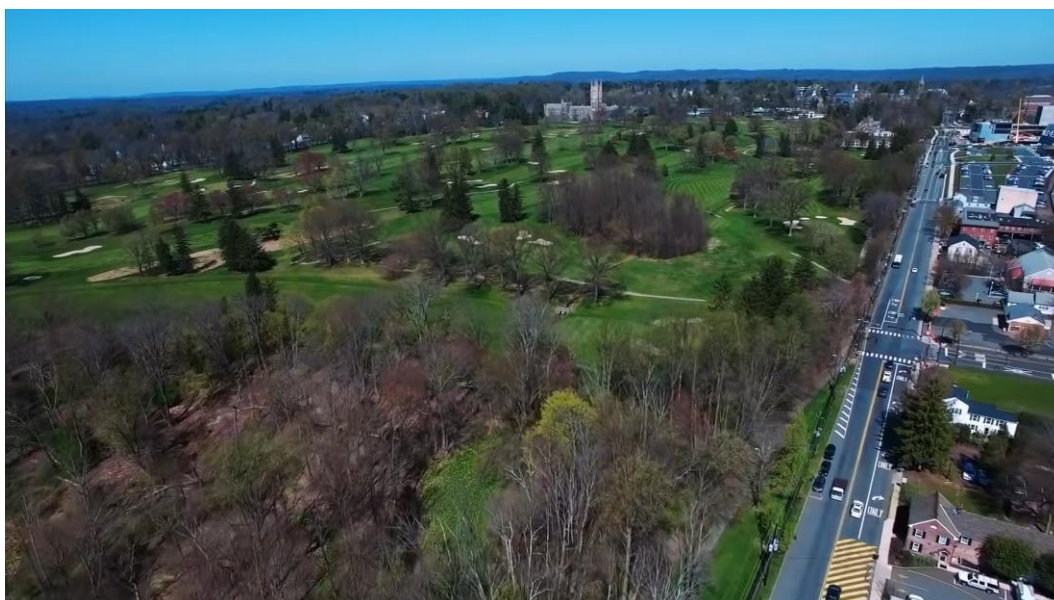
2.3.2. Adaptación del uso del suelo

En línea con el tema anterior, adaptar el uso del suelo es una estrategia esencial en el manejo del riesgo de inundaciones, especialmente en las llanuras de inundación. Esta estrategia se centra en modificar las prácticas y el manejo del suelo para minimizar los

daños económicos y sociales asociados con los eventos de inundación, aprovechando las funciones naturales de las llanuras de inundación para mitigar los impactos de las crecidas (Opperman et al., 2010).

La adaptación del uso del suelo en las llanuras de inundación implica la implementación de prácticas que permiten el uso productivo de estas áreas, sin exponerlas a riesgos significativos de pérdidas (Ilustración 15). Tales como, la agricultura adaptada a inundaciones, la conservación de humedales, construcción de parques longitudinales, carreteras, ciclovías y el desarrollo de infraestructura verde. La agricultura adaptada a inundaciones utiliza cultivos resistentes al agua y sistemas de manejo del suelo que soportan periodos de inundación, reduciendo así la vulnerabilidad de las cosechas (Tockner & Stanford, 2002).

Ilustración 15. Parque sobre la llanura de inundación, Canadá



(Hillhouse, 2021) How Do Flood Control Structures Work? (Fotografía), recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=5mCJh5SJEis&t=541s>

2.3.3. Estructuras resistentes a inundaciones

Otra estrategia fundamental para el aumento de la resiliencia y la mitigación de riesgos asociados con eventos hidrológicos extremos es la construcción de edificaciones resistentes a inundaciones. Enfocándose en diseñar y construir estas edificaciones se pueden minimizar significativamente los daños estructurales, económicos e incluso la pérdida de vidas humanas. Las técnicas más comúnmente utilizadas en la construcción resistente a inundaciones incluyen la elevación de edificios, el uso de materiales impermeables y sistemas de drenaje eficientes (Cao, 2020).

Ilustración 16. Centro Ambiental Brock, Virginia, US



(Patel, 2022) Estructuras elevadas construidas cerca de la línea de costa o de un área con riesgo de inundación (Fotografía), recuperado de <https://2030palette.org/estructuras-elevadas/?lang=es>

La elevación de edificios (Ilustración 16) es una práctica común en áreas propensas a inundaciones, consiste en elevar la base de la estructura por encima del nivel

Tecnologías para el manejo del riesgo de inundaciones a diferentes escalas

esperado de inundación, utilizando pilotes o cimientos elevados. Este método reduce significativamente la probabilidad de daño por agua. Además, el empleo de materiales impermeables en la construcción, como concreto reforzado y revestimientos especiales, aumenta la resistencia de las edificaciones a la penetración del agua (FEMA, 2014).

Ilustración 17. Palafitos en nueva Venecia, Colombia



(Romero, 2017) Así es la vida en Nueva Venecia, el pueblo que 'flota' sobre las aguas (Fotografía), recuperado de, <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/como-se-vive-en-la-venecia-colombiana-105706>

Las estructuras elevadas no son algo nuevo, los palafitos que son casas apoyadas en troncos firmemente incrustados en el lecho de un río o sobre el suelo marino han existido en diversas culturas alrededor del mundo durante mucho tiempo, en Colombia uno de los casos más notables es el del pueblo de nueva Venecia (ilustración 17), un pueblo que vive sobre el agua justo a la mitad de la imponente ciénaga grande en santa marta, un ejemplo que se debería trasladar a muchas más comunidades, adaptando estos sistemas, modernizándolos y adaptándolos a estructuras actuales se podría aumentar

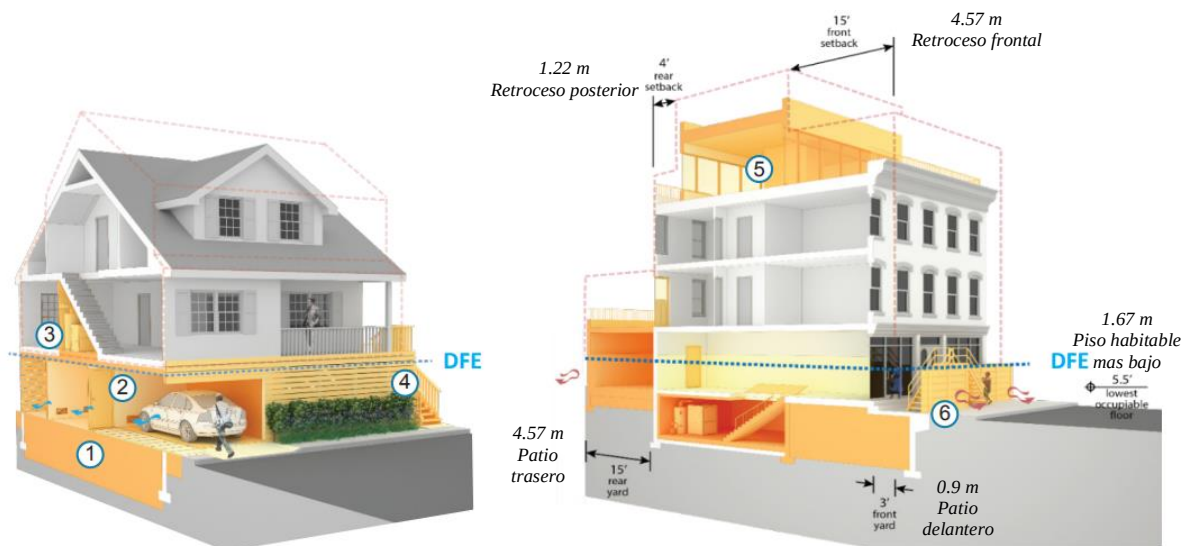
Tecnologías para el manejo del riesgo de inundaciones a diferentes escalas

considerablemente la resiliencia sobre todo de pueblos rivereños ante las inminentes inundaciones, la elevación de las estructuras podría traer beneficios también a los centros poblados más grandes, aplicando una combinación de estas técnicas en el diseño y construcción de edificaciones resistentes a inundaciones no solo protege las propiedades y vidas humanas, sino que también contribuye a mejorar la resiliencia de las poblaciones para enfrentar desastres naturales (Ruíz et al, 2017).

2.3.4. Actualización de códigos de construcción y planes de ordenamiento.

Todo lo que hemos visto hasta el momento en técnicas para el control de inundaciones solo son posibles si se aplica con un plan ordenado y leyes claras que tracen una ruta hacia un futuro con comunidades más resilientes ante eventos hidrológicos extremos, por esta razón se hace clara la necesidad de la actualización de los códigos de construcción es esencial para la gestión eficaz de inundaciones en entornos urbanos. Este proceso implica la revisión y modificación de las normativas de construcción para incorporar criterios y prácticas que mejoren la resiliencia de las edificaciones y la infraestructura ante eventos de inundación. Las nuevas normativas pueden incluir requisitos para la elevación de edificios, la utilización de materiales constructivos resistentes al agua, y la implementación de sistemas de drenaje avanzados (Paul et al., 2013).

Ilustración 18. Ejemplos de construcciones resistentes a inundaciones



Edificio Residencial con impermeabilización húmeda

- ① Zona inundada hasta el grado adyacente más bajo
- ② El espacio por debajo del DFE es para el estacionamiento, acceso al edificio o almacenamiento menor
- ③ Los sistemas mecánicos están por encima del DFE
- ④ El paisajismo y las escaleras de entrada mejoran la apariencia del edificio desde la calle

Edificio de uso mixto con impermeabilización seca

- ⑤ La adición de la azotea reemplaza el espacio perdido debajo del DFE
- ⑥ El área comercial está tratada con impermeabilización seca incluyendo la colocación de barreras removibles

(FEMA, 2014) Resumen Informativo Construcciones Resistentes a Inundaciones (ilustración), recuperado de, <https://www.nyc.gov/assets/planning/download/pdf/plans-studies/climate-resiliency/flood-resilient-construction-info-brief-spanish.pdf>

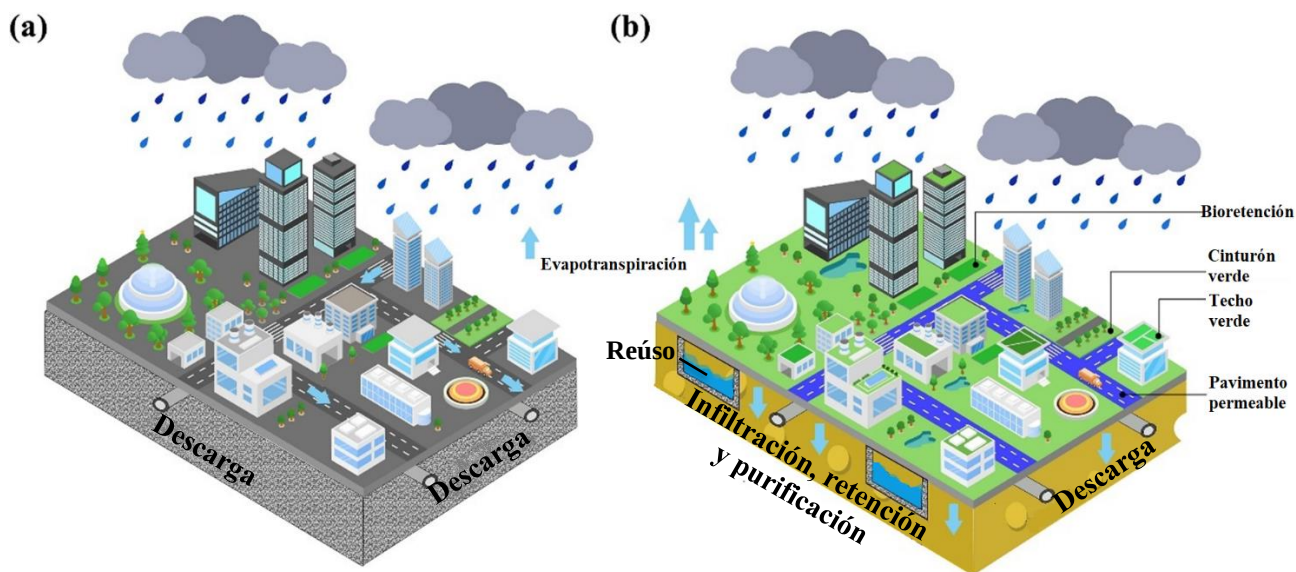
Ya existen ejemplos de ciudades que contemplan normativas para las construcciones en zonas de alto riesgo de inundación, en Nueva York por ejemplo se exige que todos los nuevos edificios y las mejoras sustanciales en zonas con un 1% de probabilidad de inundación cumplan con la normativa. Para edificios residenciales, las áreas habitables deben elevarse, mientras que los espacios bajo el DFE (nivel estimado de inundación) se destinan a estacionamiento, almacenamiento o acceso. En la Zona V, el espacio bajo el DFE debe permanecer abierto o diseñado para romperse durante tormentas. Los edificios de uso mixto o no residenciales pueden elevarse o

impermeabilizarse. Cumplir con estas normas es necesario para participar en el Programa Nacional de Seguro contra Inundaciones de FEMA. Las medidas para edificios existentes, como el reequipamiento, pueden reducir la vulnerabilidad y las primas de seguros. La Enmienda a la Zonificación de Zonas de Resistencia a las Inundaciones facilita la reconstrucción, asegurando la resiliencia sin alterar el carácter del barrio (FEMA, 2022).

Lo que nos lleva al segundo punto sobre la importancia de los planes de ordenamiento territorial dictando las bases del planeamiento urbano que asegure una resiliencia ante inundaciones, aplicando las metodologías vistas anteriormente como respetar las planicies de inundación de los canales naturales de agua o presentar mapas detallados sobre las zonas de riesgos de inundación en las áreas pobladas ofrece una base de información importante para los estudios técnicos y las decisiones a tomar al momento de escoger las metodologías para el manejo de inundaciones (SURFI, 2011).

La presencia de códigos de construcción robustos y lineamientos claros en el desarrollo de una ciudad nos lleva a lo que se conoce actualmente con el concepto de “Ciudad Esponja” o SPC, esta es una estrategia urbanística que busca aumentar la disposición de las ciudades y centros poblados para absorber y gestionar las aguas lluvias de manera natural. Las ciudades esponja utilizan soluciones basadas en la naturaleza, tales como, parques inundables, techos cultivables y pavimentos permeables, para mitigar el riesgo de inundaciones y mejorar el manejo del agua (Yin et al., 2021)

Ilustración 19. Esquema de funcionamiento de una Ciudad esponja.



(Yin et al., 2021), Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance (illustration), recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620350071>

Desde 2015, 30 ciudades en China han iniciado proyectos piloto para construir ciudades esponja (SPC). Las SPC proporcionan soluciones comprensivas para mejorar el entorno acuático urbano, adaptándose a las características y problemas específicos de cada ciudad, como la contaminación industrial en ciudades industriales. Este concepto es similar pero más informativo que el desarrollo de bajo impacto (LID) y los enfoques sostenibles para los sistemas de drenaje urbano. Las SPC se centran en mejorar la capacidad de manejo de condiciones climáticas severas y problemas ecológicos, integrando infraestructura verde y de drenaje para mantener un ciclo hidrológico saludable y resolver problemas de seguridad y ecología del agua. Aunque hay diferencias con las ciudades resilientes, que se enfocan en la capacidad de recuperación y adaptación a desastres, ambas buscan mantener la estructura y funciones esenciales de las ciudades.

La construcción de SPC incluye la reducción de volumen de escorrentía, optimización de redes de drenaje y sistemas de control de inundaciones, promoviendo la biodiversidad y restauración de hábitats. Sin embargo, la participación pública en estos proyectos ha sido limitada, aunque la aceptación del concepto es alta debido a sus beneficios ambientales (Yin et al., 2021)

2.3.5. Concientización publica

La concientización pública es un componente crucial en la gestión efectiva de inundaciones, ya que educar y movilizar a la comunidad puede reducir significativamente los riesgos y daños asociados con estos eventos naturales. Este proceso implica informar a las poblaciones acerca de las causas y efectos de las inundaciones, así como sobre las medidas preventivas y de respuesta que pueden adoptar. La participación activa de la comunidad no solo aumenta la resiliencia ante inundaciones, sino que también promueve una cultura de prevención y adaptación a largo plazo (UNDRR, 2015)

Para concientizar a la ciudadanía sobre el riesgo de desastres, es fundamental seguir varios puntos clave. Primero, se debe elaborar, actualizar y difundir información sobre el riesgo de desastres, incluyendo mapas de riesgos, utilizando tecnologías geoespaciales para facilitar la comprensión. Es esencial evaluar y compartir de manera ordenada las pérdidas generadas por desastres, considerando su impacto tanto educativo y ambiental como económico, sanitario y social, asegurando que esta información esté disponible y accesible al público. También se debe asegurar la accesibilidad a datos

fiables en tiempo real y usar innovaciones tecnológicas para así mejorar la recopilación y análisis de datos.

Ilustración 20. Recomendaciones para prevenir inundaciones.

10 Recomendaciones del Acueducto de Bogotá para prevenir inundaciones

Los taponamientos de redes y encharcamientos se pueden prevenir desde el hogar siguiendo estos sencillos consejos:

 SÓTANOS - Los edificios deben tener un sistema de bombeo en perfecto estado para drenar las aguas lluvias hacia el alcantarillado. - Es necesario mantener limpias y en perfecto estado las rejillas que drenan los garajes.	 BAÑOS Deposite en cestas y canecas los preservativos, papel y toallas higiénicas. No los arroje al sanitario.
 CANALES Y BAJANTES DE LAS VIVIENDAS (Tubos de las fachadas que permiten el desagüe normal de las cubiertas) Estos deben permanecer libres de basuras y de objetos sólidos.	 COCINA (Por el sifón del lavaplatos se pueden ir sobrantes de comida que taponan las tuberías) - Limpie los platos y deposite los restos de comida en la basura. - No arroje el aceite de cocina o grasa al lavaplatos.
 EN CAJAS DE INSPECCIÓN (Permiten desaguar normalmente las cubiertas) Verifique su correcto funcionamiento y evite que se llenen de basuras. Limpielas periódicamente.	 BASURAS Colabore sacando la basura en los horarios establecidos y dejándola dispuesta en bolsas bien cerradas.
 TEJADOS Y CUBIERTAS Revise el estado de las tejas y marquesinas, ya que un tejado en mal estado puede caerse por efecto de la lluvia o del granizo, o puede desprenderse debido a los vientos fuertes. Asegúrelos bien.	 FRENTE DE LA CASA (El alcantarillado de la ciudad recoge las aguas lluvias a través de sumideros instalados en las calles) No los tape con escombros, vehículos u objetos que les impidan recolectar normalmente el agua.
 PATIOS - Mantenga los patios limpios y libres de objetos que tapen los sifones y no barra hacia ellos. - Si en su casa hay árboles, corte las ramas que estén sobre el techo de la vivienda. - Los sifones deben permanecer siempre con tapas.	 CANALES DE AGUAS LLUVIAS No arroje basuras, desperdicios o escombros a los canales, quebradas o ríos.


Reporte el hurto de tapas y alcantarillas a la Acualínea 116



EAAB 2021, 10 Recomendaciones del acueducto de Bogotá para prevenir inundaciones (Ilustración), recuperado de <https://www.idiger.gov.co/documents/20182/75898/infografia-recomendaciones-horizonta1.jpg/822f38fd-eab6-4477-9d90-bfe9f5ce36e8?t=1505770807987>

Es vital impartir conocimientos a funcionarios públicos, la sociedad civil y actores privados mediante capacitación y la socialización de experiencias y prácticas adecuadas, el diálogo y la cooperación entre la comunidad científica, tecnológica y los encargados de formular políticas son esenciales para tomar decisiones basadas en la ciencia. Se deben aprovechar los conocimientos y prácticas tradicionales para complementar los científicos en la evaluación y gestión del riesgo de desastres (UNDRR, 2015).

El fortalecimiento de la capacidad técnica y científica es crucial para desarrollar metodologías y modelos de evaluación de riesgos. Además de fomentar inversiones en innovación y desarrollo tecnológico para investigaciones a largo plazo sobre la gestión en el riesgo de desastres. La incorporación del conocimiento sobre estos riesgos en todos los niveles de educación y en la formación profesional es igualmente importante. Finalmente, se debe promover la sensibilización pública a través de campañas y movilización comunitaria, asegurando que la información sobre riesgos se utilice para desarrollar y aplicar políticas efectivas de mitigación del riesgo de desastres y mejorar la colaboración local para difundir esta información.(UNDRR, 2015)

Algunas de las acciones concretas que la comunidad debe conocer para minimizar los riesgos al momento de una inundación son (IFCR, 2021):

- Conocer los riesgos de inundación en su área.
- Almacenar objetos de valor y materiales peligrosos por encima de los niveles probables de agua.
- Considerar la posibilidad de reubicarse o mitigar y adaptarse.
- Planificar cómo proteger a sus animales.

- Conocer las rutas de evacuación previstas para inundaciones en su área.
- Seleccionar un sitio seguro para su hogar.
- Construir y mantener su hogar teniendo en cuenta las inundaciones.
- Mantener los canales de agua y los sistemas de drenaje.
- Construir barreras que eviten la entrada de agua de la inundación en los edificios.
- Tener suministros para proteger su hogar.
- Tener suministros para proteger a las personas de ahogarse y como transporte flotante.
- Al escuchar una advertencia de inundación, almacenar agua adicional.
- En el transcurso de la temporada de lluvias y condiciones de inundación, mantener el tanque de combustible de su vehículo lleno.

Una comunidad informada es más resiliente a las inundaciones porque puede anticiparse, prepararse y responder de manera efectiva. Conocer los riesgos y las medidas preventivas, como rutas de evacuación y construcción de infraestructuras resistentes, permite a los residentes minimizar los impactos de las inundaciones. La educación y participación activa en estrategias de mitigación aseguran una respuesta coordinada, reduciendo pérdidas materiales y humanas y fortaleciendo la cohesión social. En resumen, la información y preparación son clave para una resiliencia efectiva ante inundaciones (SURFI, 2011).

2.3.6. Planes de evacuación

La elaboración y la implementación de planes de evacuación efectivos son esenciales para lograr mitigar los efectos adversos de las inundaciones en comunidades vulnerables. Los planes de evacuación bien diseñados y comunicados no solo salvan vidas, sino que también reducen significativamente las pérdidas materiales y económicas. La identificación precisa de rutas seguras, puntos de encuentro y procedimientos claros para la movilización de personas y recursos son componentes fundamentales de estos planes. Además, la capacitación continua y la sensibilización pública aseguran que la población esté preparada para dar una respuesta rápida y eficaz en circunstancias de emergencia. En este contexto, la incorporación de tecnologías avanzadas de información geoespacial y sistemas de alerta temprana puede mejorar la precisión y la efectividad de las evacuaciones, reforzando la resiliencia comunitaria frente a desastres naturales (Cruz Roja, 2024).

Los sistemas de alerta temprana (SAT) representan una unión de capacidades científicas, del sector tanto público como privado y de las comunitarias, esta unión es fundamental para identificar y comunicar situaciones de riesgo, proporcionando a todos los sectores de la población el suficiente tiempo y el conocimiento para saber cómo responder adecuadamente y reducir el riesgo de desastres. Estos sistemas buscan minimizar las pérdidas de vidas, daños a propiedades y al medio ambiente (UNGRD, 2020).

Existen dos tipos principales de SAT: los centralizados y los descentralizados. Los sistemas centralizados dependen en gran medida de tecnologías automatizadas y son

coordinados por una autoridad central o grupos de entidades gubernamentales, apoyándose en organizaciones técnico-científicas. En contraste, los sistemas descentralizados son sostenidos principalmente por la comunidad, la cual participa directamente en la toma de decisiones para proteger vidas y bienes, siendo más comunes en situaciones donde el tiempo de respuesta es corto (UNGRD, 2020).

Para abordar situaciones complejas, se recomienda un enfoque mixto que combine el monitoreo institucional con una preparación adecuada de la población. Según la Guía para la Implementación de Sistemas de Alerta Temprana de la UNGRD, en Colombia se integró a las redes internacionales de pronóstico y alerta mediante convenios con la ONU, implementando redes de monitoreo hidrometeorológico desde los años 60 (UNGRD, 2020).

Ilustración 21. Estacion de control, sistema de alerta temprana del valle de Aburrá



Área metropolitana del valle de Aburrá, 2021, SIATA ¿Qué es? (Fotografía), recuperado de <https://www.metropol.gov.co/ambiental/siata/Paginas/que-es.aspx>

En Colombia, los SAT más relevantes incluyen la emisión de alertas de tsunami, el seguimiento de las situaciones meteorológicas por el IDEAM y el monitoreo sísmico y Tecnologías para el manejo del riesgo de inundaciones a diferentes escalas

volcánico por el Servicio Geológico Colombiano. Además, se han desarrollado proyectos regionales notables como el Sistema de Alerta de Bogotá por el IDIGER y el SIATA en el Valle de Aburrá, que permiten una regionalización precisa de los pronósticos y alertas a nivel local (UNGRD, 2020).

2.3.7. Organismos de rescate

La importancia de los organismos de rescate en situaciones de inundación no puede subestimarse. Estos organismos desempeñan un papel esencial en la atenuación de los devastadores impactos que las inundaciones pueden tener en las comunidades afectadas. Empezando con la evacuación de individuos en grave peligro y hasta la provisión de asistencia médica y suministros esenciales, los equipos de rescate están en la primera línea de respuesta ante desastres naturales. La coordinación y preparación de estos organismos son fundamentales para garantizar una respuesta rápida y eficaz, lo que podría significar una cuantitativa diferencia en el número de víctimas. Además, su labor no solo se limita a la respuesta inmediata, sino que también incluye actividades de prevención y educación para reducir los riesgos asociados a futuras inundaciones. La capacitación continua y el equipamiento adecuado son esenciales para que estos organismos puedan cumplir su misión de manera eficiente y socorrer la mayor cantidad de vidas posible durante estos eventos catastróficos (Motorola, 2023).

Ilustración 22. Equipo de rescate acuático de Swift Water, Australia



Daily Mail, 2021, Relief for millions with NO heavy rain predicted for a week as temperatures soar to 30C but thousands still face weeks of unrelenting flood (Fotografía), recuperado de, <https://www.dailymail.co.uk/news/article-9394825/Australia-weather-Floods-continue-weeks-sunshine-coming-Wednesday.html>

Por ejemplo, durante el Huracán Katrina en 2005, la lenta y desorganizada respuesta de las autoridades resultó en una mayor catástrofe humanitaria en Nueva Orleans, con miles de personas atrapadas sin acceso a alimentos, agua potable ni atención médica (Clarín, 2005). Del mismo modo, tras el terremoto en Haití en 2010, una falta en la coordinación y un arribo tardío de organismos de ayuda internacional agravaron la situación de emergencia, provocando un mayor sufrimiento y pérdida de vidas (OPS, 2012).

En Pakistán, durante las inundaciones de 2010, la respuesta tardía de los organismos de rescate contribuyó a una crisis humanitaria extendida, con millones de personas

afectadas sin acceso a ayuda esencial, lo que llevó a una mayor propagación de enfermedades y un aumento en el número de muertos (OXFAM, 2011).

Estos ejemplos subrayan la necesidad crítica de disponer de planes de respuesta de emergencia eficaces y bien coordinados para manejar desastres naturales, especialmente inundaciones. La capacidad de los organismos de rescate para actuar rápidamente puede marcar la diferencia entre la vida y la muerte, así como minimizar el impacto económico y social de estos eventos devastadores (Motorola, 2023).

2.4. Planes de manejo para recuperación y reparación de daños

En la gestión de inundaciones, los planes para la recuperación y reparación de daños van más allá de simplemente controlar el agua. Se enfocan en abordar de manera integral los impactos devastadores que las inundaciones pueden tener en las comunidades afectadas. Estos planes no solo buscan mitigar el daño inmediato, sino también facilitar esfuerzos de ayuda a largo plazo. Esto incluye la provisión de compensaciones económicas destinadas a la reconstrucción de infraestructuras dañadas y la implementación de seguros contra inundaciones para prevenir pérdidas futuras. Al adoptar un enfoque proactivo y estructurado, es posible no solo enfrentar los desafíos presentes, sino también fortalecer la resiliencia comunitaria ante futuros eventos adversos (Tariq et al., 2020).

2.4.1. Esfuerzos de ayuda

La implementación de esfuerzos de ayuda es crucial después de una inundación para mitigar sus efectos devastadores en las comunidades afectadas. En situaciones de emergencia estos esfuerzos son esenciales para poder garantizar la seguridad y el bienestar de los individuos de una comunidad. La ayuda humanitaria inmediata, que incluye el suministro de alimentos y agua potable, es fundamental para cubrir las necesidades básicas de los damnificados. Además, proporcionar refugios adecuados es vital para ofrecer un lugar seguro y protegido a quienes han perdido sus hogares (Cruz Roja, s. f.).

Asimismo, la atención médica y psicológica es indispensable para tratar las lesiones físicas y el trauma emocional que suelen acompañar a estos eventos catastróficos. Estos esfuerzos no solo facilitan la recuperación inicial, sino que también ayudan a estabilizar la comunidad y a preparar el terreno para la reconstrucción a largo plazo. La coordinación y la implementación efectiva de estas medidas son esenciales para asegurar una respuesta integral y eficiente ante las inundaciones (MinSalud, 2024)

Ilustración 23. Albergue temporal para damnificados por lluvias, Lambayeque, Perú



Andina, 2017. Instalan 66 albergues en nueve regiones afectadas por intensas lluvias, (Fotografía), recuperado de, <https://andina.pe/agencia/noticia.aspx?id=660720>

Los albergues son instalaciones temporales que brindan techo, comida, abrigo y seguridad a las personas que sufren de emergencias, como inundaciones. Estos albergues temporales pueden instalarse en centros de integración familiar, colegios, escenarios deportivos e incluso parques o plazas. En estas circunstancias, es común que las personas se trasladen a tierras elevadas y regresen a sus hogares cuando el agua retroceda, aunque las inundaciones a veces prolongan la necesidad de refugio (MinSalud, 2024).

Para ser efectivos, los albergues deben:

- Brindar protección contra el clima (lluvia, viento, frío y calor).
- Tener bodegas para almacenar bienes.
- Ofrecer seguridad emocional e intimidad.
- Estar ubicados en terrenos seguros.
- Cumplir con normas sanitarias básicas, incluyendo letrinas y acceso al agua potable.
- Contar con buena iluminación.

La organización de los albergues requiere un coordinador y voluntarios comunitarios para manejar áreas como alimentación, recreación, salud y seguridad.

En cuanto a la salud, es vital:

- Coordinar asistencia médica y vigilancia epidemiológica.
- Administrar primeros auxilios.
- Promover buenas prácticas de higiene y manejo de desechos.
- Facilitar apoyo emocional y psicológico.

La atención en los albergues debe ser equitativa, respetando los derechos de los pacientes y brindando privacidad a estos. Es crucial que los grupos de atención sean autosuficientes y cuenten con los recursos necesarios para brindar una atención integral y segura (MinSalud, 2024).

2.4.2. Seguros de inundación y compensaciones económicas

Los seguros de inundaciones son una herramienta crucial para la gestión de riesgos en zonas propensas a inundaciones. Estos seguros le brindan una red de seguridad financiera a propietarios de viviendas y empresas, permitiéndoles recuperar pérdidas económicas significativas tras un evento de inundación. La contratación de un seguro de inundaciones implica evaluar adecuadamente los riesgos asociados y seleccionar una póliza que cubra tanto los daños estructurales como las pérdidas de contenido. Además, es importante que los asegurados comprendan los términos de sus contratos de aseguramiento, que incluye los límites de cobertura y los procedimientos para presentar reclamaciones. De esta manera, se garantiza que las personas y comunidades afectadas puedan recuperarse más rápidamente y con mayor eficiencia después de una inundación (LOPEZ & CASTIBLANCO, 2016).

El Programa Nacional de Seguro Contra Inundaciones (NFIP) en los Estados Unidos es un ejemplo de la implementación de este tipo de herramientas; permite a propietarios de viviendas, de negocios e inquilinos en comunidades participantes adquirir seguros contra inundaciones respaldados por el gobierno federal. Este seguro cubre los costos de reparación de daños causados por inundaciones en los edificios y sus contenidos. El seguro contra inundaciones es un tipo de seguro que ayuda a las personas a recuperarse más rápidamente de una pérdida, a diferencia de los programas de asistencia para desastres. Las leyes federales requieren que las propiedades ubicadas en áreas de

alto riesgo de inundaciones mantengan este seguro, lo que también afecta a los futuros propietarios (FEMA, 2024).

En Colombia no existe un programa público nacional bien establecido para asegurar edificaciones contra inundaciones, sin embargo, si existen seguros privados disponibles e iniciativas para asegurar económicamente a agricultores que pierdan sus cosechas en desastres causados por el fenómeno de la niña, en mayo de 2024, el Ministerio de Agricultura de Colombia, junto con Finagro, destinó un monto superior a \$66 mil millones para que los seguros agropecuarios fueran subsidiados ante el fenómeno de La Niña. Este programa cubre hasta el 95% del costo de las pólizas para pequeños productores, ayudándoles a enfrentar pérdidas por inundaciones y deslizamientos. En 2023, se otorgaron \$114.600 millones en subsidios, beneficiando a 76.700 productores y asegurando 156.500 hectáreas. El programa también registra pagos por más de \$101.000 millones a familias por indemnizaciones debido a eventos climáticos adversos hasta abril de 2024 (Minagricultura, 2024).

De igual forma las compensaciones económicas a los damnificados por inundaciones que en muchos casos no pueden permitirse pagar un seguro, son cruciales porque permiten a las personas afectadas recuperar rápidamente su estabilidad financiera y reconstruir sus vidas. Estas ayudas facilitan la reparación y reconstrucción de viviendas, la reposición de bienes perdidos y el restablecimiento de actividades económicas, lo que es vital para la recuperación de comunidades enteras. Además, proporcionan un apoyo inmediato que reduce la carga emocional y psicológica de las víctimas, permitiéndoles enfrentar la crisis con mayor resiliencia, en Colombia la unidad Nacional Para la

Prevención de Riesgos y Desastres estableció desde el 2022 el programa de “Ayudas Económicas a Jefas y Jefes de Hogar Damnificados”, con el que han entregado compensaciones monetarias a lo largo de 27 departamentos y de 496 municipios del país con más de 438.179 jefes de hogar beneficiados (UNGRD, 2022)

3. Discusión y análisis

Desde un principio la idea que motivo la realización de este trabajo fue la de destacar la importancia del conocimiento de las tecnologías del manejo de inundaciones pues esta nos da la capacidad para transformar nuestra respuesta a estos desastres naturales, minimizando tanto la pérdida de vidas humanas como los daños económicos. Con el crecimiento de centros urbanos y la incertidumbre del cambio climático, las inundaciones se han vuelto más frecuentes y severas, exigiendo soluciones innovadoras y efectivas.

El conocimiento profundo de las tecnologías del manejo de inundaciones también nos da muchas más opciones a la hora de escoger los métodos de manejo del riesgo, como la adición de soluciones basadas en la naturaleza junto con las infraestructuras tradicionales. Por ejemplo, la combinación de sistemas de drenaje urbanos con la restauración de humedales y la reforestación puede reducir significativamente el riesgo frente a los eventos adversos de las inundaciones.

Este tipo de enfoque integral es esencial desde un punto de vista de la ingeniería pues no hay una solución perfecta y las fallas al no tomarse en cuenta todos los parámetros del riesgo llegan a ser catastróficas, integrar medidas con enfoques directos e indirectos no solo mitiga el peligro inmediato, sino que además contribuye a la creación de comunidades sostenibles a largo plazo, mejorando la resiliencia tanto de los ecosistemas y como de las comunidades.

En pos de maximizar los beneficios, es esencial que los profesionales del sector, las autoridades regionales y la ciudadanía se mantengan informados sobre avances

Tecnologías para el manejo del riesgo de inundaciones a diferentes escalas

tecnológicos recientes y mejoras en las prácticas en la gestión de riesgos de inundaciones. Desde una perspectiva local, implica que en Colombia por parte de las autoridades se establezcan y se hagan cumplir normativas claras sobre la construcción resistente a inundaciones, aunque tenemos una normativa muy robusta en referencia a estructuras sismorresistentes, cuando hablamos de inundaciones, quizás el desastre natural que más genera pérdidas en el país tanto humanas como materiales, no tenemos una guía clara.

La capacitación continua de profesionales en el manejo de inundaciones y la inversión en educación y estudios específicos son esenciales para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y respuesta. La formación continua de ingenieros, urbanistas, meteorólogos y otros expertos garantiza que estén al tanto de las últimas tecnologías y metodologías, permitiéndoles diseñar y aplicar soluciones innovadoras y adaptativas. Además, la creación y actualización de mapas nacionales de zonas de inundación es fundamental para identificar áreas de alto riesgo, planificar el desarrollo urbano de manera segura, dirigiendo los recursos de manera efectiva hacia donde más se necesiten.

Este conocimiento continuo no solo ayudará a implementar soluciones más efectivas, sino que también abrirá la puerta a nuevas discusiones y desarrollos en el campo, fortaleciendo nuestra capacidad colectiva para enfrentar futuros desafíos. Por eso es clave resaltar la importancia del conocimiento de las técnicas, Normatividad y educación.

La importancia de un cambio de enfoque en el control de inundaciones implica un necesario cambio de paradigma que no se limita a soluciones basadas únicamente en infraestructura tradicional, promoviendo la construcción de centros poblados más

resilientes que integran la planificación urbana sostenible, la conservación ambiental y la participación comunitaria. En lugar de depender solo de diques, presas y sistemas de drenaje, se deben implementar estrategias que incluyan la restauración de humedales, la reforestación, restauración de planicies de inundación y la creación de espacios verdes urbanos que absorban y gestionen el exceso de agua de manera natural. Mejorando en el camino la calidad de vida de las comunidades al fomentar ambientes más saludables y sostenibles.

Actualmente la implementación de métodos integrales de control de inundaciones en Colombia enfrenta una gran variedad de retos significativos. La diversidad geográfica del país, que incluye regiones montañosas, costas y llanuras, exige soluciones adaptadas a cada contexto específico, complicando la planificación y ejecución de estrategias uniformes. Además, la urbanización desordenada y la falta de infraestructura adecuada en muchas áreas urbanas aumentan la vulnerabilidad a las inundaciones. Los recursos financieros limitados y la insuficiente inversión en investigación y tecnología también dificultan el desarrollo e implementación de tecnologías novedosas en el control de riesgo y proyectos de mitigación de desastres naturales.

La falta de coordinación entre diferentes niveles gubernamentales y la falta de políticas públicas integradas representan otro desafío, impidiendo una respuesta unificada y eficiente. La educación y concienciación comunitaria sobre los riesgos y las medidas preventivas son aún insuficientes, lo que limita una activa y motivada participación de las comunidades en las iniciativas de resiliencia. Superar estos obstáculos requiere un compromiso firme y colaborativo entre el gobierno, las instituciones académicas, el

sector privado y sociedad civil, orientado hacia la creación de un marco robusto y sostenible para la gestión del riesgo de inundaciones.

4. Conclusiones

En términos de tecnologías existentes para el control de inundaciones, hay disponibles una gran variedad de metodologías muy variadas que abordan diferentes aspectos a tener en cuenta para el manejo del riesgo, desde evitar las probabilidades de un evento extremo hasta la recuperación de daños causados por el agua.

Es necesario un enfoque integral pues no existe una metodología que por sí sola sea suficiente para controlar los riesgos de una inundación y al mismo tiempo sea ambientalmente sostenible, cada tecnología juega un papel fundamental cuando se habla de la reducción del riesgo y la diversidad no únicamente se limitarse a las técnicas físicas y estructurales, sino también incluye prácticas innovadoras como el concepto de ciudades esponja y sistemas de alerta temprana basados en tecnología, que son fundamentales para la planificación y respuesta efectiva ante eventos extremos.

Las tecnologías que aumentan la resiliencia, como las infraestructuras verdes y las prácticas de urbanización sostenible, son clave para adaptarse a los efectos del cambio climático causantes de eventos cada vez más extremos y frecuentes, ya que en lugar de intentar controlarlos se enfocan en modificar la forma como construimos los entornos urbanos para poder convivir con estos fenómenos sin sufrir consecuencias.

Dado el cambio climático y los patrones meteorológicos cambiantes, la adaptación continua y la revisión de las estrategias y tecnologías utilizadas son esenciales

Tecnologías para el manejo del riesgo de inundaciones a diferentes escalas

para mantener la efectividad en el control de inundaciones, promoviendo el uso de métodos que no impacten negativamente al medio ambiente, asegurando así la preservación de ecosistemas y minimizando los efectos secundarios de las medidas de control de inundaciones.

La eficacia de estas tecnologías depende de una adecuada coordinación entre entidades gubernamentales, comunidades locales y expertos, así como una planificación anticipada y estratégica, para esto es crucial que la investigación y el desarrollo de tecnologías novedosas y revolucionarias se encuentre adecuadamente financiada, así como una mayor educación y campañas de concientización pública acerca de lo importante que es de la gestión integral del riesgo de inundaciones.

A pesar de la variedad de tecnologías para el control de las inundaciones, el riesgo persiste debido a la imprevisibilidad de eventos extremos. Por tanto, la existencia de planes de emergencia y organismos de rescate es crucial. Además de complementar las estrategias de prevención y control, también permiten una respuesta rápida y coordinada ante crisis, minimizando pérdidas humanas y económicas y facilitando la recuperación y reconstrucción post-evento.

5. Bibliografía

90 minutos. (2017). *CVC culminó reforzamiento de dique que protege a Cali de posibles inundaciones*. <https://90minutos.co/cali/cvc-culmino-reforzamiento-dique-protecte-cali-inundaciones-30-11-2017/>

Ågren, A., Buffam, I., Jansson, M., & Laudon, H. (2007). Importance of seasonality and small streams for the landscape regulation of dissolved organic carbon export. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 112(G3), 2006JG000381. <https://doi.org/10.1029/2006JG000381>

Al-Batsh, N., Al-Khatib, I., Ghannam, S., Anayah, F., Jodeh, S., Hanbali, G., Khalaf, B., & van der Valk, M. (2019). Assessment of Rainwater Harvesting Systems in Poor Rural Communities: A Case Study from Yatta Area, Palestine. *Water*, 11(3), 585. <https://doi.org/10.3390/w11030585>

Alberta WaterPortal society. (2023). *Flood Mitigation: Diversion Channel*. 1. Ammar, A., Riksen, M., Ouessar, M., & Ritsema, C. (2016). Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(2), 108-120. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.03.001>

Antolini, F., Tate, E., Dalzell, B., Young, N., Johnson, K., & Hawthorne, P. L. (2020). Flood Risk Reduction from Agricultural Best Management Practices. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 56(1), 161-179. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12812>

Aronica, G. T., Candela, A., Fabio, P., & Santoro, M. (2012). Estimation of flood inundation probabilities using global hazard indexes based on hydrodynamic variables. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 42-44, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.04.001>

Awang Ali, A. N., Ariffin, J., Mohd. Razi, Mohd. A., & Jazuri, A. (2017). Environmental Degradation: A Review on the Potential Impact of River Morphology. *MATEC Web of Conferences*, 103, 04001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710304001>

Barrios, F. (2021). *Dragar en La Mojana es solución para inundaciones, dicen alcaldes de región*. 1.

Barrios, F. (2022). *Denuncian que trabajos de dragado en Cara de Gato aumentan las inundaciones*. 1.

Bedoya, V. H., & López-Lezama, J. M. (2015). Modelo para el Control de Inundaciones durante el Fenómeno De «La Niña» Utilizando un Embalse Hidroeléctrico. *Información Tecnológica*, 26(2), 89-100. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200011>

Beilfuss, R. (2010). Modelling trade-offs between hydropower generation and environmental flow scenarios: A case study of the Lower Zambezi River Basin, Mozambique. *International Journal of River Basin Management*, 8(3-4), 331-347. <https://doi.org/10.1080/15715124.2010.533643>

Bouwer, H. (2002). Artificial recharge of groundwater: Hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, 10(1), 121-142. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0182-4>

Campisano, A., & Modica, C. (2015). Appropriate resolution timescale to evaluate water saving and retention potential of rainwater harvesting for toilet flushing in single houses. *Journal of Hydroinformatics*, 17(3), 331-346. <https://doi.org/10.2166/hydro.2015.022>

Cao, L. (2020). ¿Cómo combatir inundaciones a través de la arquitectura? 9 soluciones prácticas [..Co]. archdaily. <https://www.archdaily.co/co/940400/como-combatir-inundaciones-a-traves-de-la-arquitectura-9-soluciones-practicas>

CAR. (2023). CAR construyó muro de contención en el río Tobia para mitigar riesgo de inundaciones. <https://www.car.gov.co/saladeprensa/car-construyo-muro-de-contencion-en-el-rio-tobia-para-mitigar-riesgo-de-inundaciones>

Chung, J. S. & International Society of Offshore and Polar Engineers (Eds.). (2001). *Plenary presentation, Asgard transport, pipelines, risers, cables and mooring, AUV and underwater control, environment engineering, geotechnical engineering, soil properties, offshore investigations, soil dynamics, suction foundation, foundations, reclaimed lands*. International Offshore and Polar Engineering Conference, Cupertino, Calif. ISOPE, International Society of Offshore and Polar Engineers.

Clarín. (2005). *Bush asume la responsabilidad por la lenta respuesta ante Katrina*. 1.

Coombes, P. J., & Barry, M. E. (2008). The relative efficiency of water supply catchments and rainwater tanks in cities subject to variable climate and the potential for climate change. *Australasian Journal of Water Resources*, 12(2), 85-100. <https://doi.org/10.1080/13241583.2008.11465337>

Cruz Roja. (s. f.). *Asistencia Ante Desastres* [..Org]. redcross. <https://www.redcross.org/cruz-roja/nosotros/asistencia-ante-desastres.html>

Cruz Roja. (2024). *La importancia del Plan Familiar de Emergencia* [..Org.co]. cruzrojabogota. <https://www.cruzrojabogota.org.co/post/la-importancia-del-plan-familiar-de-emergencia>

Dixon, S. J., Sear, D. A., Odoni, N. A., Sykes, T., & Lane, S. N. (2016). The effects of river restoration on catchment scale flood risk and flood hydrology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(7), 997-1008. <https://doi.org/10.1002/esp.3919>

Dong, X., Liu, J., Li, Y., Bo, H., & Deng, X. (2010). Dynamic Application and Risk Analysis of Flood Control Water Level to the Three Gorges Reservoir by Utilizing Mid-Term Inflow Forecasts. *2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/APPEEC.2010.5449235>

FEMA. (2014). *HOMEOWNER'S GUIDE TO RETROFITTING, SIX WAYS TO PROTECT YOUR HOME FROM FLOODING* (3.^a ed., Vol. 1). https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/FEMA_P-312.pdf

FEMA. (2022). *Seguro de Inundación* [..GOV]. Fema. <https://www.fema.gov/es/flood-insurance>

FEMA. (2024, mayo 1). *Programa Nacional de Seguro Contra Inundaciones (NFIP)* [..Gov]. disasterassistance. <https://www.disasterassistance.gov/es/obtener-asistencia/forma-de-asistencia/4465>

Fercher, M., Mueller, M. H., & Alaoui, A. (2018). Modelling the impact of land use changes on peak discharge in the Urseren Valley, Central Swiss Alps. *CATENA*, 163, 321-331. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.032>

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>

Government of Manitoba. (2013). *Flood: Technical Review of Lake Manitoba, Lake St. Martin and Assiniboine River Water Levels*. https://www.gov.mb.ca/mit/floodinfo/floodproofing/reports/pdf/assiniboine_lakemb_lsm_report_nov2013.pdf.

Graf, W. L. (1999). Dam nation: A geographic census of American dams and their large-scale hydrologic impacts. *Water Resources Research*, 35(4), 1305-1311. <https://doi.org/10.1029/1999WR900016>

Hassan, F. A., Hamdan, M. A., Flower, R. J., Shallaly, N. A., & Ebrahim, E. (2017). Holocene alluvial history and archaeological significance of the Nile floodplain in the Saqqara-Memphis region, Egypt. *Quaternary Science Reviews*, 176, 51-70. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.09.016>

Heredia, P. (2023). *Ministerio de Obras Públicas construye muros de gaviones en Higüey para evitar inundaciones*. <https://www.diariolibre.com/actualidad/nacional/2023/08/28/obras-publicas-construye-muros-de-gaviones-en-higuey/2444830>

Hernandez, F. (2024). *Las inundaciones en la Mojana sucreña comienzan a afectar colegios de Guaranda*. 1.

Hillhouse, G. (Director). (2021). *How Do Flood Control Structures Work?* [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=5mCJh5SJEis&t>

IFCR. (2021). *Floods: Key Messages* (p. 7). Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. <https://www.ifrc.org/sites/default/files/2021-06/18-FLOODS-HR.pdf>

Knox, R. L., Wohl, E. E., & Morrison, R. R. (2022). Levees don't protect, they disconnect: A critical review of how artificial levees impact floodplain functions. *Science of The Total Environment*, 837, 155773. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155773>

Kondolf, G. M. (2006). River Restoration and Meanders. *Ecology and Society*, 11(2), art42. <https://doi.org/10.5751/ES-01795-110242>

Kondolf, G. M., & Micheli, E. R. (1995). Evaluating stream restoration projects. *Environmental Management*, 19(1), 1-15. <https://doi.org/10.1007/BF02471999>

Lam, A. (Director). (2023). *What stops rain from flooding your city?* [Video ensayo]. https://www.youtube.com/watch?v=coXe8_xnAOs&t

LOPEZ, L., & CASTIBLANCO, J. (2016). *INUNDACIONES Y GESTIÓN DEL RIESGO EN COLOMBIA: UN ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DEL ESTADO Y EL ROL DEL ASEGURAMIENTO DESDE EL 2003 AL 2013* [UNIVERSIDAD DE LA SALLE].

<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1056&context=economia>

Malaver, J. (2022). *ELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN BASADO EN LA GEOTECNIA DE LA ZONA* [Ensayo científico, Universidad Militar Nueva Granada].

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/43804/MalaverEspitiaJuanPablo2022.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Minagricultura. (2024). *Más de \$66 mil millones disponibles para que campesinas y campesinos aseguren sus cultivos ante los riesgos asociados al fenómeno de La Niña* [..Gov.co]. minagricultura.

[https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/M%C3%A1s-de-\\$66-mil-millones-disponibles-para-que-campesinas-y-campesinos-aseguren-sus-cultivos-ante-los-riesgos-asociados-al-fe.aspx](https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/M%C3%A1s-de-$66-mil-millones-disponibles-para-que-campesinas-y-campesinos-aseguren-sus-cultivos-ante-los-riesgos-asociados-al-fe.aspx)

MinSalud. (2024). *Albergues* [..Gov.co]. minsalud.

<https://www.minsalud.gov.co/salud/PServicios/Paginas/albergues.aspx>

Mitchell, N., Kumarasamy, K., Cho, S. J., Belmont, P., Dalzell, B., & Gran, K. (2018). Reducing High Flows and Sediment Loading through Increased Water Storage in an Agricultural Watershed of the Upper Midwest, USA. *Water*, 10(8), 1053.

<https://doi.org/10.3390/w10081053>

Moore, G. W., & Heilman, J. L. (2011). Proposed principles governing how vegetation changes affect transpiration. *Ecohydrology*, 4(3), 351-358.

<https://doi.org/10.1002/eco.232>

Motorola. (2023). *Mejorando el tiempo de respuesta en los Cuerpos de Bomberos de Latinoamérica y el Caribe gracias a tecnologías de última generación*. 1.

Ngo, L. L. (2006). *Optimising reservoir operation: A case study of the Hoa Binh reservoir, Vietnam*. Institute of Environment & Resources, Technical University of Denmark.

Nicholson, A. R., O'Donnell, G. M., Wilkinson, M. E., & Quinn, P. F. (2020). The potential of runoff attenuation features as a Natural Flood Management approach. *Journal of Flood Risk Management*, 13(S1), e12565. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12565>

Nienhuis, P. H., & Leuven, R. S. E. W. (2001). River restoration and flood protection: Controversy or synergism? *Hydrobiologia*, 444(1/3), 85-99.

<https://doi.org/10.1023/A:1017509410951>

Opperman, J. J., Luster, R., McKenney, B. A., Roberts, M., & Meadows, A. W. (2010). Ecologically Functional Floodplains: Connectivity, Flow Regime, and Scale ¹. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 46(2), 211-226.

<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00426.x>

OPS. (2012). *Obstaculizados los esfuerzos posteriores al terremoto de Haití por falta de intercambio de información*. 1.

OXFAM. (2011). *Inundaciones en Pakistán: La lenta respuesta está desencadenando otro desastre*. 1.

Tecnologías para el manejo del riesgo de inundaciones a diferentes escalas

- Page, D., Bekele, E., Vanderzalm, J., & Sidhu, J. (2018). Managed Aquifer Recharge (MAR) in Sustainable Urban Water Management. *Water*, 10(3), 239. <https://doi.org/10.3390/w10030239>
- Palmer, M. A., Bernhardt, E. S., Allan, J. D., Lake, P. S., Alexander, G., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C. N., Follstad Shah, J., Galat, D. L., Loss, S. G., Goodwin, P., Hart, D. D., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G. M., Lave, R., Meyer, J. L., ... Sudduth, E. (2005). Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 208-217. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01004.x>
- Patel, P. (2022). *Chesapeake Bay Foundation: Brock Environmental Center* [..Org]. 2030palette. <https://2030palette.org/estructuras-elevadas/?lang=es>
- Petit-Boix, A., Devkota, J., Phillips, R., Vargas-Parra, M. V., Josa, A., Gabarrell, X., Rieradevall, J., & Apul, D. (2018). Life cycle and hydrologic modeling of rainwater harvesting in urban neighborhoods: Implications of urban form and water demand patterns in the US and Spain. *Science of The Total Environment*, 621, 434-443. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.206>
- Petroski, H. (2006). Levees and Other Raised Ground. *American Scientist*, 94(1), 7. <https://doi.org/10.1511/2006.57.7>
- Petts, G. E. (1984). *Impounded rivers: Perspectives for ecological management*. Wiley.
- Plate, E. J. (2002). Flood risk and flood management. *Journal of Hydrology*, 267(1-2), 2-11. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00135-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00135-X)
- Romero, V. (2017). *Así es la vida en Nueva Venecia, el pueblo que «flota» sobre las aguas* [..Com/]. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/como-se-vive-en-la-venecia-colombiana-105706>
- Rüegg, J., Moos, C., Gentile, A., Luisier, G., Elsig, A., Prasicek, G., & Otero, I. (2022). An Approach to Evaluate Mountain Forest Protection and Management as a Means for Flood Mitigation. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, 785740. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.785740>
- Ruíz, A. (2017). *GUÍA PARA LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS EDIFICIOS FRENTE A LAS INUNDACIONES*. Consorcio de Compensación de Seguros. https://ebroresilience.com/wp-content/uploads/2018/12/guia_inundaciones_completa_22jun.pdf
- Ruiz, J. (2021). *Restauración, no canalización del río Bogotá*. 1.
- Sánchez, E. (2020). *CANALIZACIÓN DE RÍOS EN EL CANTÓN DE GUATUSO (INFORME TÉCNICO 01; p. 11)*. UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE RIESGO. https://muniguatuso.go.cr/images/2020_RIGOS/Docs_Rigos/CNE-UIAR-INF-0300-20_ALAJUELA-GUATUSO-SAN_RAFAEL-INTERVENCION_DE_VARIOS_CAUCES-FD.pdf
- Santiago, M. (2022). *Los encauzamientos de los ríos: Sus efectos ambientales y sociales*. https://www.eldiario.es/opinion/zona-critica/encauzamientos-rios-efectos-ambientales-sociales_129_9578511.html#:~:text=El%20encauzamiento%20de%20un%20r%C3%ADo,%20C%20escolleras%20e%20incluso%20paredes

- Secretaria de ambiente. (2022). *Así avanza la recuperación del río Bogotá*. ambientebogota.gov.co. https://www.ambientebogota.gov.co/nota-principal/-/asset_publisher/vRkc1u7VgGg4/content/asi-avanza-la-recuperacion-del-rio-bogota
- Semana. (2020). *¿La CAR va a canalizar el río Teusacá?* 1.
- SIM. (2024). *Encauzamientos*. simingenieros.es. <https://simingenieros.es/proyectos-y-servicios/encauzamientos/>
- Simons, D. B., & Şentürk, F. (1992). *Sediment transport technology: Water and sediment dynamics* (Rev. ed). Water Resources Publications.
- Smart water. (2024). *Sustainable Solutions: Discovering Rainwater Harvesting Techniques Used Worldwide* [..Com]. Smartwateronline. <https://smartwateronline.com/news/rainwater-harvesting-techniques-used-worldwide>
- Steffen, J., Jensen, M., Pomeroy, C. A., & Burian, S. J. (2013). Water Supply and Stormwater Management Benefits of Residential Rainwater Harvesting in U.S. Cities. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(4), 810-824. <https://doi.org/10.1111/jawr.12038>
- SURFI. (2011). *SUFRI Methodology for pluvial and river flooding risk assessment in urban areas to inform decision-making*. http://www.edams.upv.es/docs/2011_July_SUFRI_WP3_Final%20Report.pdf
- Taffere, G. R., Beyene, A., Vuai, S. A. H., Gasana, J., & Seleshi, Y. (2016). Reliability analysis of roof rainwater harvesting systems in a semi-arid region of sub-Saharan Africa: Case study of Mekelle, Ethiopia. *Hydrological Sciences Journal*, 61(6), 1135-1140. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1061195>
- Tariq, M. A. U. R., Farooq, R., & van de Giesen, N. (2020). A Critical Review of Flood Risk Management and the Selection of Suitable Measures. *Applied Sciences*, 10(23), 8752. <https://doi.org/10.3390/app10238752>
- Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettner, A. J., Doyle, C. S., Brakenridge, G. R., Erickson, T. A., & Slayback, D. A. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596(7870), 80-86. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w>
- Tockner, K., & Stanford, J. A. (2002). Riverine flood plains: Present state and future trends. *Environmental Conservation*, 29(3), 308-330. <https://doi.org/10.1017/S037689290200022X>
- UNDRR. (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030* (INFORME TÉCNICO 1; p. 40). United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://www.undrr.org/media/16098/download?startDownload=20240705>
- UNGRD. (2020). *Sistemas de Alerta Temprana como elementos para la gestión del riesgo de desastres* [..Gov.co]. portal.gestiondelriesgo. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Sistemas-de-Alerta-Temprana-como-elementos-para-la-gestion-del-riesgo-de-desastres.aspx>
- UNGRD. (2022). *UNGRD entregará apoyo monetario a familias damnificadas por situación de desastre nacional* [..Goc.co]. portal.gestiondelriesgo. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2022/UNGRD-entregara-apoyo-monetario-a-familias-damnificadas-por-situacion-de-desastre-nacional.aspx>

Vereecken, H., Schnepf, A., Hopmans, J. W., Javaux, M., Or, D., Roose, T., Vanderborght, J., Young, M. H., Amelung, W., Aitkenhead, M., Allison, S. D., Assouline, S., Baveye, P., Berli, M., Brüggemann, N., Finke, P., Flury, M., Gaiser, T., Govers, G., ... Young, I. M. (2016). Modeling Soil Processes: Review, Key Challenges, and New Perspectives. *Vadose Zone Journal*, 15(5), 1-57.

<https://doi.org/10.2136/vzj2015.09.0131>

World Meteorological Organization. (2006). *Associated Programme on Flood Management Technical Document No. 3, Flood Management Policy Series – Environmental Aspects of Integrated Flood Management*.
https://www.floodmanagement.info/publications/policy/ifm_env_aspects/Environmental_Aspects_of_IFM_En.pdf

Yin, D., Chen, Y., Jia, H., Wang, Q., Chen, Z., Xu, C., Li, Q., Wang, W., Yang, Y., Fu, G., & Chen, A. S. (2021). Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124963. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124963>

Zhang, X., Hu, M., Chen, G., & Xu, Y. (2012). Urban Rainwater Utilization and its Role in Mitigating Urban Waterlogging Problems—A Case Study in Nanjing, China. *Water Resources Management*, 26(13), 3757-3766. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0101-6>