

**Enfrentando sequías e inundaciones en Panamá: Lecciones holandesas
para la cuenca del Río La Villa**

Facing droughts and floods in Panama: dutch lessons for the La Villa River
basin

Daan Smits

Universidad de Ciencias Aplicadas Saxion

Facultad de Negocios, Construcción y Tecnología. Países Bajos.

Estudiante de Ingeniería civil.

451836@student.saxion.nl

<https://orcid.org/0009-0002-7561-3365>

Nout Lindenschot

Universidad de Ciencias Aplicadas Saxion.

Facultad de Negocios, Construcción y Tecnología. Países Bajos.

Estudiante de Ingeniería civil.

535665@student.saxion.nl

<https://orcid.org/0009-0002-2352-5398>

Mark Okhuijzen Mulder

Universidad de Ciencias Aplicadas Saxion.

Facultad de Negocios, Construcción y Tecnología. Países Bajos.

Profesor.

m.j.u.okhuijzenmulder@saxion.nl

<https://orcid.org/0009-0007-0744-0438>

Jaime Espinosa-Tasón

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Panamá

jaime.espinosa@idiap.gob.pa

<https://orcid.org/0000-0003-3114-3365>

Recibido 18/02/24

Aceptado 10/07/24



DOI <https://doi.org/10.48204/j.cnacionales.n35.a5323>

Resumen

El cambio climático impone serios desafíos hídricos a Panamá, incluyendo sequías, inundaciones y aumento del nivel del mar. Este estudio explora estrategias para mejorar la resiliencia en la cuenca del río La Villa, tomando como referencia la experiencia holandesa en gestión del agua. A través de un análisis bibliográfico y comparativo, se identifican soluciones innovadoras y sostenibles que armonicen la gestión del agua con el entorno natural. Se destacan estrategias como la recolección de agua de lluvia, la recarga de aguas subterráneas y la conservación del agua en diversos sectores. El estudio resalta la importancia de un enfoque holístico e integrado, con la participación de comunidades, autoridades y stakeholders. Los hallazgos proporcionan información valiosa para la gestión sostenible de los recursos hídricos en Panamá, particularmente en la cuenca del río La Villa, contribuyendo a la elaboración de políticas y estrategias que aseguren la disponibilidad de agua para las generaciones presentes y futuras.

Palabras clave: gestión del agua, resiliencia climática, sequías, inundaciones, cuenca del río La Villa, Panamá, Países Bajos.

Abstract

Climate change imposes serious water challenges on Panama, including droughts, floods and sea level rise. This study explores strategies to improve resilience in the La Villa river basin, taking as a reference the Dutch experience in water management. Through a bibliographic and comparative analysis, innovative and sustainable solutions that harmonize water management with the natural environment are identified. Strategies such as rainwater harvesting, groundwater recharge and water conservation in various sectors are highlighted. The study highlights the importance of a holistic and integrated approach, involving communities, authorities, and stakeholders. The findings provide valuable information for the sustainable management of water resources in Panama, particularly in the La Villa river basin, contributing to the development of policies and strategies to ensure water availability for present and future generations.

Keywords: water management, climate resilience, droughts, floods, La Villa river basin, Panama, Netherlands.

Introducción

Panamá, ubicada en el corazón de América, no escapa a los desafíos que presenta el cambio climático. Entre los más apremiantes se encuentran la escasez de agua debido a sequías cada

vez más severas y, en contraposición, las inundaciones provocadas por precipitaciones extremas. El cambio climático no solo transforma los patrones climáticos, sino que también ejerce un impacto negativo en la economía y el bienestar del pueblo panameño.

Panamá, conocida por sus diversos ecosistemas que van desde bosques tropicales hasta manglares costeros, ocupa una posición única como punto de acceso biológico y al mismo tiempo enfrenta vulnerabilidades debido al cambio climático (Ibáñez et al. 2002). El clima tropical del país, caracterizado por selvas tropicales en el norte y sabanas en el sur, con temperaturas que oscilan entre 22°C y 30°C durante todo el año, está experimentando los efectos del cambio climático. A pesar de su reputación de pluviosidad, Panamá está siendo testigo de cambios en los patrones de precipitación, aumento de las temperaturas y un aumento de los fenómenos meteorológicos extremos (Ministerio de Ambiente 2022).

El impacto del cambio climático en Panamá es evidente en el aumento de las temperaturas promedio de 1°C a 3°C desde la década de 1970, lo que contribuye a una mayor variabilidad climática y a la intensificación de fenómenos como El Niño y La Niña. Los fenómenos meteorológicos extremos, incluidos ciclones tropicales e inundaciones, plantean amenazas a la economía, la infraestructura y los medios de vida de los residentes del país (IMHPA 2024).

Particularmente vulnerables son las zonas costeras bajas y las islas, y ciudades como Ciudad de Panamá y Colón enfrentan mayores riesgos de inundaciones y erosión debido al aumento del nivel del mar. Este escenario combinado resalta la intrincada relación entre diversos ecosistemas, los desafíos climáticos y la urgente necesidad de abordar los impactos del cambio climático en Panamá (Gamedá et al. 2014, Evans 2023, Núñez 2023).

Los patrones alterados de precipitación desafían los recursos hídricos de Panamá, provocando períodos secos prolongados, sequías y escasez de agua. La agricultura, la generación de energía hidroeléctrica y la disponibilidad de agua potable se ven afectadas. Ecosistemas únicos como la selva tropical del Darién y el Parque Nacional Coiba enfrentan desequilibrios ecológicos debido a alteraciones inducidas por el clima.

Frente a estos desafíos, Panamá debe forjar estrategias integrales de adaptación y mitigación. La colaboración entre el gobierno, la sociedad civil y los socios internacionales es esencial para proteger el patrimonio natural de Panamá y garantizar el bienestar de su población en

medio de un clima cambiante. Panamá no sólo es un receptor de los impactos climáticos, sino también un contribuyente que toma iniciativas en la lucha global contra el cambio climático (Ministerio de Ambiente 2022).

Los patrones de lluvia cambiantes, con sequías cada vez más prolongadas, afectan tanto a las zonas urbanas como rurales. Si bien Panamá está tomando medidas para reducir su huella de carbono, la región del río La Villa enfrenta problemas específicos relacionados con la escasez de agua e inundaciones. Este estudio se adentra en el caso particular de la cuenca del río La Villa, explorando soluciones inteligentes inspiradas en la gestión hídrica de los Países Bajos. La evaluación de estas posibles soluciones tiene como objetivo final impulsar una gestión eficiente y sostenible del agua en Panamá, en beneficio de las comunidades.

Metodología

La investigación es de índole exploratoria y se centra en los problemas actuales relacionados con el agua que enfrenta Panamá, particularmente en el área del río La Villa, y las medidas que se están tomando para abordarlos. El río La Villa domina la cuenca homónima, un extenso territorio de 1,284.3 kilómetros cuadrados que se extiende a lo largo de 117 kilómetros (Figura 1). Ubicada en el arco seco panameño, dentro de la península de Azuero, esta cuenca es el vital recurso hídrico que abastece de agua potable a 94,000 personas en las provincias de Los Santos y Herrera.

Es importante tener en cuenta que una investigación exploratoria es solo el primer paso para comprender un problema complejo. La cuenca del río La Villa tiene su eje metropolitano comprendido en las ciudades de Chitré (al norte) y La Villa de Los Santos (al sur). La figura 2, muestra la desembocadura del río La Villa a su paso por estas ciudades, la imagen de la izquierda es a inicios del periodo más caluroso (febrero) y a la derecha a finales del mes de abril el más caliente (Weather Spark 2024).

Figura 1.

Cuenca hidrográfica río La Villa

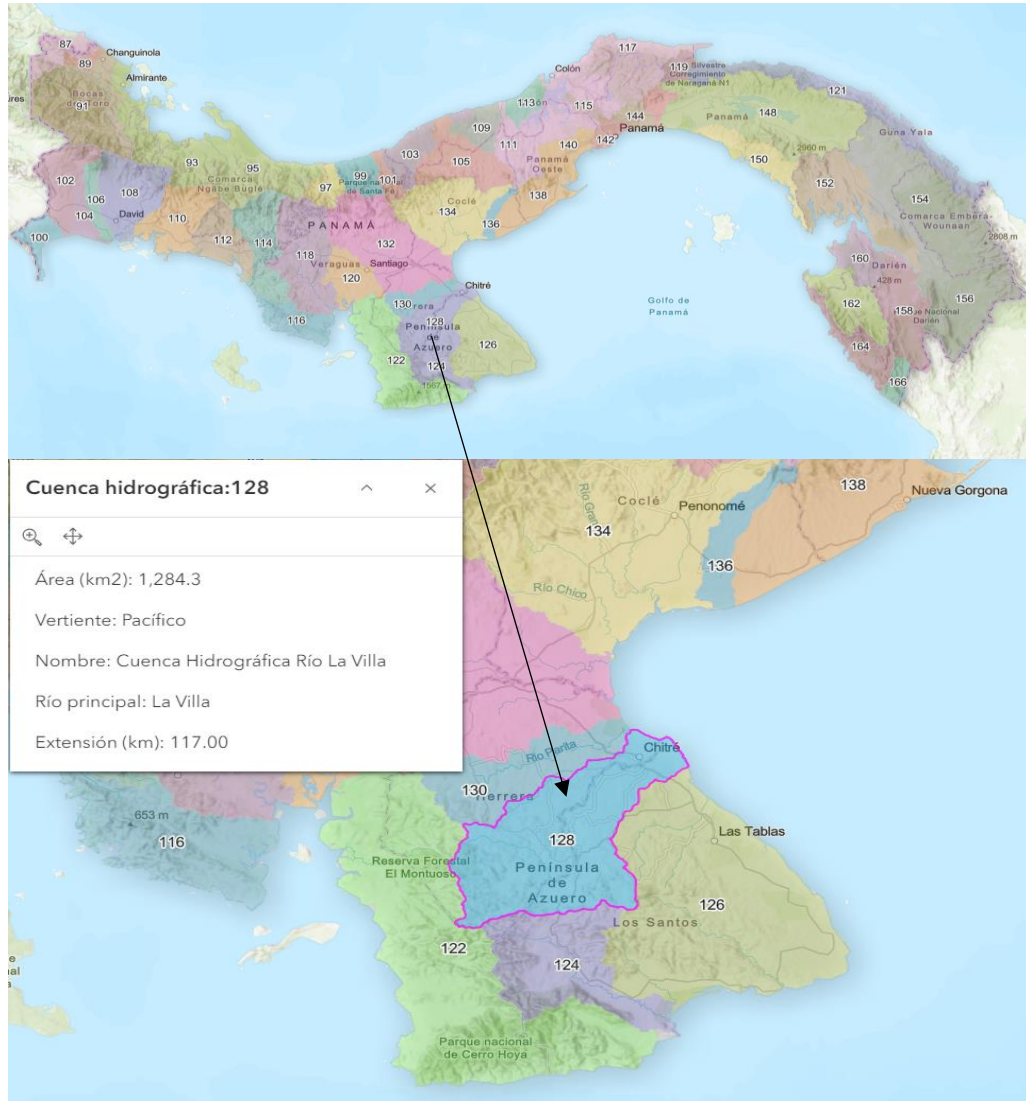


Figura 2.

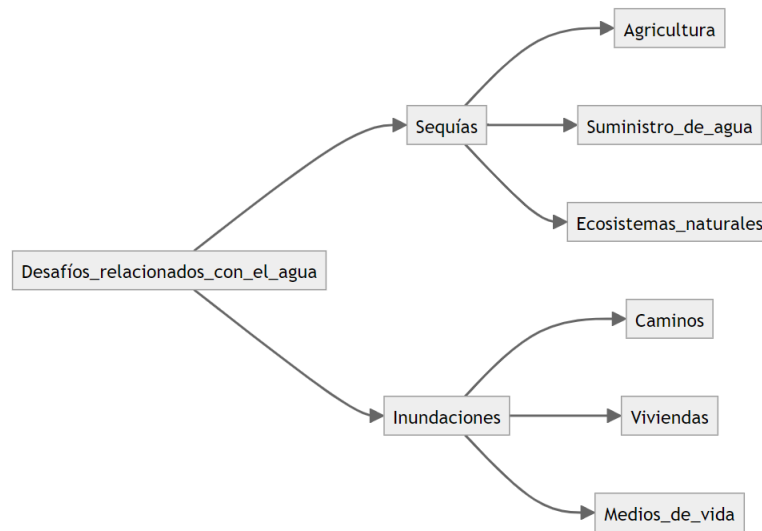
Vista satelital del eje metropolitano de la cuenca del río La Villa durante el período de mayor temperatura.



La investigación sobre los desafíos hídricos en Panamá requiere una comprensión profunda de los diversos impactos que estos problemas generan en la nación. Para ello, es primordial el desarrollo de metodologías que abarquen el análisis de distintos factores y su interrelación. En este marco, la Figura 3 juega un papel fundamental al presentar un esquema visual que resume los principales desafíos relacionados con el agua. A través de este esquema, se identifican las dos problemáticas centrales: las sequías y las inundaciones. En el caso de las afectaciones por suministro de agua debido a las sequías, el problema implica la perspectiva del consumo de agua potable para la población, así como el suministro de agua requerido para la generación hidroeléctrica, y en años recientes se ha acrecentado la problemática del agua requerida para la operación del Canal de Panamá, un importante motor de la economía panameña.

Figura 3.

Principales desafíos relacionados con el agua.



Cabe recalcar que, dependiendo de la variada topografía presente, con presencia de montañas, costas y llanuras, se intensificarán estos desafíos. Es importante destacar que la metodología empleada busca proporcionar una visión integral de los desafíos hídricos en Panamá, permitiendo comprender su complejidad y las acciones necesarias para mitigar sus efectos negativos.

La susceptibilidad de Panamá a sequías e inundaciones debido a su diversa geografía subraya la necesidad de examinar diferentes experiencias e iniciativas. La zona del río La Villa, con su importancia como fuente de agua, sirve como punto focal para soluciones innovadoras (Concepción & Hooper 2023). El estudio tiene como objetivo aportar conocimientos valiosos a los esfuerzos en curso, sugiriendo posibles soluciones.

Empleando la revisión de literatura este trabajo se concentra en investigar alternativas de solución de sequías específicamente con la experiencia de los Países Bajos en la gestión

hídrica, lo que sugiere la búsqueda de soluciones inspiradas en sus prácticas. Se siguieron los siguientes pasos para la identificación y priorización de soluciones.

1. Recopilación de información secundaria: Se realizó una revisión de literatura.
2. Clasificación de soluciones: Las soluciones identificadas se clasificaron en categorías estratégicas.
3. Evaluación y priorización de soluciones: Se utilizó el método de análisis multicriterio (ACM) para evaluar y priorizar las soluciones identificadas. El ACM es una técnica de decisión estructurada que permite comparar y clasificar opciones considerando múltiples criterios.

En el ACM, se compararán las diversas soluciones consideradas para identificar la opción que mejor se ajuste al ámbito del proyecto. Este proceso de evaluación implica la valoración de múltiples criterios (Tabla 1), cada uno de los cuales contribuye a la eficacia global y a la tasa de éxito de las estrategias propuestas contra las inundaciones y la sequía.

Tabla 1.

Criterios para la selección de soluciones contra sequías e inundaciones.

Criterio	Descripción	Factor de peso	Escala de calificación	
Costo total	Estima la inversión necesaria para implantar cada solución.	2	<input type="checkbox"/> B/. 1,000,000	3 ²
			<input type="checkbox"/> B/. 1,000,000 – B/. 50,000,000	2 ²
			<input type="checkbox"/> B/. 50,000,000	1 ²
Eficacia	La eficacia se mide por el impacto de cada solución, por lo bien que una solución aborda el doble reto de mitigar las inundaciones y mejorar la resistencia a la sequía.	3	<input type="checkbox"/> 50%	3 ²
			<input type="checkbox"/> 50%	2 ²
			<input type="checkbox"/> 0%	1 ²
Mantenimiento	Las puntuaciones de mantenimiento se asignan en función del nivel de esfuerzo necesario para mantener la calidad y funcionalidad de cada solución a lo largo del	3	<input type="checkbox"/> (Casi) sin requisitos de mantenimiento	3 ²
			<input type="checkbox"/> Mantenimiento moderado	2 ²
			<input type="checkbox"/> Alto mantenimiento (requiere un esfuerzo considerable)	1 ²
Sostenibilidad	La sostenibilidad mide el rendimiento a largo plazo de las alternativas, incluido su impacto en las emisiones de CO ₂ , cuantificando su sostenibilidad y facilitando una comparación sistemática y objetiva.	2	<input type="checkbox"/> Reduce las emisiones de CO ₂ > 50%	3 ²
			<input type="checkbox"/> Reduce las emisiones de CO ₂ 0-50%	2 ²
			<input type="checkbox"/> Aumenta las emisiones de CO ₂ < 0%	1 ²
Impacto ecológico	Las soluciones se comparan en función de su contribución a la vida vegetal local y a la salud general del medio ambiente.	2	<input type="checkbox"/> Aumenta la superficie y el total de tipos de plantas en > 50% /m ²	3 ²
			<input type="checkbox"/> Aumenta la superficie y el total de tipos de plantas en 25- 50% /m ²	2 ²
			<input type="checkbox"/> Aumenta la superficie y el total de tipos de plantas en 0-25% /m ²	1 ²
Impacto político y social	Estima la inversión necesaria para implantar cada solución.	2	<input type="checkbox"/> Bajo (> 70% de aceptación social y política)	3 ²
			<input type="checkbox"/> Moderado (30%-70% de aceptación social y política)	2 ²
			<input type="checkbox"/> Alto (30%-70% de reacciones adversas sociales y políticas)	1 ²
¿Se ajusta la solución al ámbito de aplicación?		Esencial	<input type="checkbox"/> Sí: Incluir en el dictamen final <input type="checkbox"/> No: Excluir del dictamen final	

Los factores de peso o ponderación reflejan la importancia relativa de cada criterio, las escalas de calificación se utilizan para evaluar cada alternativa en cada criterio. El último criterio "¿Se ajusta la solución al ámbito de aplicación?" es binario y no tiene una escala de calificación.

Es importante reconocer que el Análisis Multicriterio (ACM) utilizado para la selección de soluciones presenta algunas limitaciones que deben considerarse:

Subjetividad en la Ponderación de Criterios: La asignación de pesos a cada criterio es un proceso subjetivo que depende de las preferencias y prioridades de los autores del estudio. Esta subjetividad puede influir en los resultados obtenidos y en la priorización de las soluciones.

Disponibilidad y Calidad de Datos: La efectividad del ACM depende de la disponibilidad y calidad de los datos utilizados para evaluar las soluciones en cada criterio. La falta de datos o la existencia de información incompleta o inexacta puede afectar la precisión de los resultados.

Incertidumbre y Riesgo: El ACM no considera explícitamente la incertidumbre y el riesgo asociados a cada solución. Factores como el cambio climático futuro, la evolución de las condiciones socioeconómicas y la incertidumbre en la implementación de las soluciones pueden afectar el desempeño real de las mismas.

Falta de Consenso entre las Partes Interesadas: El ACM no garantiza un consenso entre todas las partes interesadas involucradas en un proyecto. Es posible que diferentes grupos tengan diferentes prioridades y preferencias, lo que puede generar discrepancias en la selección de soluciones.

Resultados y Discusión

El cambio climático está teniendo un efecto directo en nuestro ecosistema y medios de vida. Esto introduce inundaciones más intensas y períodos de sequía más prolongados. La efectividad y el costo de implementar soluciones en el área del río La Villa dependerá de numerosos factores. A continuación, se abordan las alternativas (soluciones) en

infraestructura que utilizan los Países Bajos para prevenir sequías e inundaciones en su país, y el posible uso de ideas holandesas para la gestión del agua en Panamá.

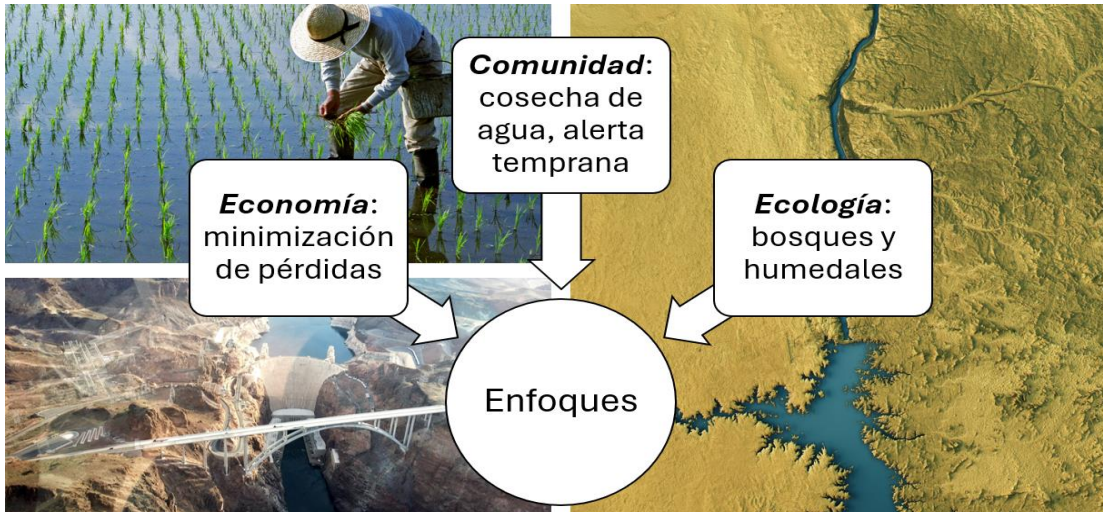
Los holandeses son expertos en el campo de la gestión del agua. Han desarrollado sistemas avanzados, como Delta Works, para controlar inundaciones y recuperar tierras. Sus soluciones innovadoras y colaboraciones internacionales los convierten en líderes en el campo. Con su experiencia, no sólo han construido infraestructura de gestión del agua para su país, sino que también han utilizado su experiencia en todo el mundo (De Mulder 2019).

Hay tres enfoques diferentes de estrategias para prevenir inundaciones y sequías (Figura 4), que vamos a explicar, estos son:

1. Enfoque impulsado por la economía: Se centra en la construcción de estructuras como presas y diques para controlar el flujo de agua. Tiene como objetivo minimizar las pérdidas financieras durante las inundaciones y garantizar la disponibilidad de agua para actividades económicas como la agricultura.
2. Enfoque impulsado por la ecología: Hace hincapié en la preservación de hábitats naturales como bosques y humedales. Al proteger los ecosistemas, este enfoque ayuda a regular los ciclos del agua y previene eventos climáticos extremos, promoviendo un equilibrio entre las actividades humanas y la naturaleza.
3. Enfoque impulsado por la comunidad: Involucra a las comunidades locales en la gestión de inundaciones y sequías. Alienta a las personas a utilizar estrategias como recolectar agua de lluvia y desarrollar sistemas de alerta temprana. Este enfoque valora el conocimiento local y empodera a las comunidades para gestionar juntos los desafíos climáticos.

Figura 4.

Enfoques para enfrentar la sequía y las inundaciones.



En situaciones reales, al combinar estos enfoques se pueden crear mejores soluciones y más resilientes para hacer frente a inundaciones y sequías (Abeyasinghe et al. 2021, Saxion 2022, Van Maren & Van Der Deijl 2022). Producto de nuestra revisión, definimos las alternativas o soluciones en 5 estrategias:

1. **Protección rígida:** desempeña un papel vital en el refuerzo de la resiliencia frente a sequías e inundaciones. En regiones propensas a estos desastres naturales, infraestructuras como presas, diques y barreras contra inundaciones actúan como baluartes contra la subida de las aguas y los periodos de sequía prolongados.
2. **Protección blanda:** son componentes integrales de las estrategias de resiliencia frente a sequías e inundaciones. Estos enfoques hacen hincapié en las soluciones naturales y los métodos basados en los ecosistemas para mitigar los efectos de los fenómenos meteorológicos extremos.
3. **Almacenamiento:** desempeña un papel fundamental en la creación de resiliencia frente a sequías e inundaciones. Durante los periodos de sequía, los sistemas de almacenamiento eficientes, como embalses, cisternas y acuíferos subterráneos, actúan como salvavidas esenciales, almacenando agua en épocas de abundancia para sostener a las comunidades y la agricultura cuando el agua escasea.

4. **Adaptación:** las estrategias de adaptación son cruciales para aumentar la resistencia tanto a las sequías como a las inundaciones. Las comunidades que se enfrentan a estos retos emplean diversas medidas para adaptarse y prosperar en unas condiciones medioambientales cambiantes. Estas estrategias incluyen la aplicación de tecnologías y prácticas de eficiencia hídrica para optimizar el uso durante las sequías, como el riego por goteo y el reciclaje del agua.
5. **Retirada:** cada vez se reconoce más que las estrategias de retirada son componentes cruciales de la planificación de la resiliencia frente a sequías e inundaciones. En las zonas vulnerables, donde el riesgo de fenómenos meteorológicos extremos es elevado, la retirada implica la reubicación estratégica de comunidades e infraestructuras lejos de las zonas peligrosas. Este enfoque proactivo no sólo protege vidas y propiedades, sino que también reconoce los retos a largo plazo que plantea el cambio climático.

En la Tabla 2, se resumen 20 soluciones holandesas para la gestión del agua, clasificadas según su estrategia, orientación ante sequías e inundaciones y un breve resumen de su funcionamiento.

Tabla 2.

Visión general de las soluciones desde una perspectiva holandesa.

Estrategia de Solución	Número de Solución	Sequía/Inundaciones	Descripción
Adaptación	1	Inundaciones	Casas flotantes para adaptarse a cambios en el nivel del agua.
	2	Sequía e inundaciones	Gestión adaptativa del agua para ajustar estrategias a condiciones cambiantes.
Almacenamiento	3	Sequía	Lago artificial para almacenar agua de lluvia para su uso posterior.
	4	Sequía e inundaciones	Cajas de infiltración para permitir que el agua de lluvia se filtre en el suelo.
	5	Sequía e inundaciones	Wadi para almacenar agua de lluvia y escorrentía.
	6	Sequía e inundaciones	Profundización de parques y plazas para almacenar agua de lluvia.
	7	Sequía	Barril de lluvia para recolectar y almacenar agua de lluvia.
	8	Sequía	Bodega de agua para almacenar agua de lluvia para uso doméstico o agrícola.
Protección blanda	9	Inundaciones	Diques para contener el agua de las inundaciones.
	10	Inundaciones	Arroyos para canalizar el agua de lluvia y reducir el riesgo de inundaciones.
	11	Sequía e inundaciones	Plantación de árboles y vegetación para mejorar la absorción de agua en el suelo.
	12	Inundaciones	Río serpenteante para reducir la velocidad del agua y disminuir el riesgo de inundaciones.
Protección rígida	13	Sequía e inundaciones	Complejo de presas para controlar el flujo de agua.
	14	Inundaciones	Barrera contra oleadas para proteger contra inundaciones marinas.
	15	Sequía e inundaciones	Molinos de pólder para drenar agua y recuperar tierras.
	16	Inundaciones	Esclusas de fondo para regular el flujo de agua en ríos y canales.
Retirada	17	Inundaciones	Zonas de inundación para permitir que el agua se extienda de manera controlada.
	18	Inundaciones	Impermeabilización de casas para aumentar su resistencia a inundaciones.
	19	Inundaciones	Retirada planificada de áreas con alto riesgo de inundaciones.
	20	Inundaciones	Elevación del terreno para proteger áreas de inundaciones.

A continuación, la Tabla 3 ejemplifica algunas de las estrategias más novedosas para el caso de Panamá

Tabla 3.

Ejemplos de estrategias de solución a la sequía e inundación en Países Bajos.

 <p>(Griffiths, 2021)</p>	<p>En los Países Bajos, hay ejemplos de casas flotantes en zonas propensas a inundaciones. Estas casas están diseñadas para flotar durante períodos de crecida, se construyen con materiales flotantes o plataformas que les permiten subir y bajar con el nivel del agua.</p>
 <p>(CiolekAtps)</p>	<p>Un lago o embalse artificial, es una masa de agua creada por los humanos mediante la construcción de presas, terraplenes u otras estructuras. Los lagos artificiales se pueden implementar en deltas de ríos, áreas costeras propensas a inundaciones, estuarios, para recuperación de tierras, regiones con escasez de agua, energía hidroeléctrica y restauración ecológica.</p>
 <p>(USTIN)</p>	<p>Las cajas de infiltración son cajas de plástico resistentes con un recinto de geotextil. En esta caja cabe una gran cantidad de agua. El recinto hecho de geotextil es una tela resistente y permeable al agua. Esta tela permite que el agua de lluvia fluya hacia el suelo de forma controlada.</p>



Un wadi es un sistema de infiltración para drenaje y recogida de agua de lluvia que utiliza la capacidad de almacenamiento del suelo local. El wadi se encuentra siempre en la zona poblada donde se desea recoger el agua de lluvia durante las fuertes lluvias prolongadas.



La profundización de parques y plazas implica la excavación estratégica o el diseño de depresiones en espacios verdes urbanos para crear embalses o áreas de retención capaces de retener el exceso de agua durante fuertes lluvias o inundaciones.



Un sistema de barriles de lluvia recoge el agua de lluvia y de tormenta de los tejados de las viviendas de los propietarios. Podría almacenar agua durante los momentos de máxima lluvia. El agua se puede utilizar durante los momentos secos para regar plantas y jardines locales. Dependiendo de las necesidades de agua, el barril de lluvia puede variar en tamaño.



Una bodega de agua es un espacio subterráneo donde se recoge y almacena el agua de lluvia, esta agua puede utilizarse en épocas secas como agua potable o para fines agrícolas.



(Docukit)

Un dique es una elevación construida que protege la tierra detrás de él de las mareas altas y las olas. Debido a que una gran parte de los Países Bajos se encuentra bajo el nivel del mar, se utiliza un dique para evitar la entrada de agua y también se puede utilizar para andar en bicicleta, caminar y criar ganado.



(Tussen Lek & Linge)

Un complejo de presas es un sistema de estructuras, como presas y barreras, construidas en los ríos para controlar el flujo de agua. Se utilizan para fines como riego, control de inundaciones y suministro de agua



(Omroep West)

Las compuertas contra marejadas ciclónicas y barreras contra inundaciones son instalaciones fijas que permiten el paso del agua en condiciones normales y cuentan con compuertas que se pueden cerrar ante marejadas ciclónicas o mareas altas para evitar inundaciones.



(Biezen)

El objetivo principal de una llanura aluvial es almacenar el exceso de agua durante las mareas altas. Se llena automáticamente cuando el nivel del río sube demasiado. Las llanuras aluviales fértiles y húmedas son muy adecuadas para pastos y prados de heno.

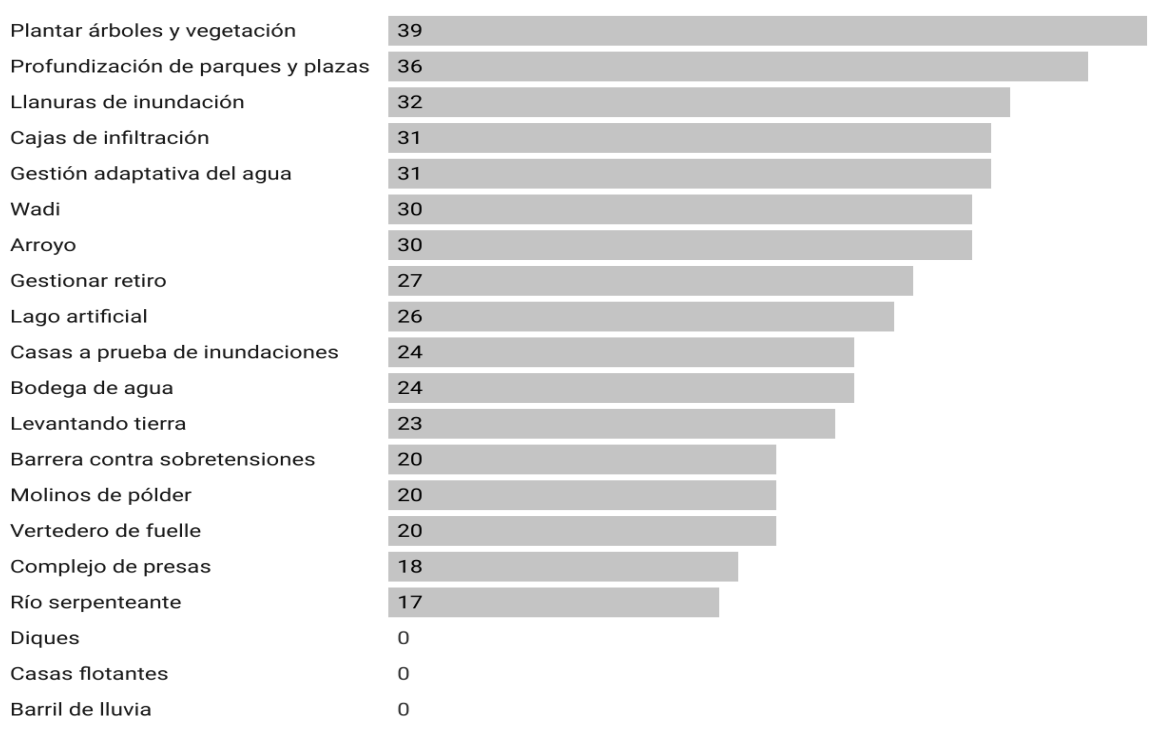


La estrategia de elevar el terreno para hacer frente a las inundaciones implica elevar los niveles del suelo en zonas propensas a inundaciones utilizando técnicas como terraplenes, recuperación de tierras, pólderes y plataformas elevadas.

En el análisis multicriterio, se compararon las diversas soluciones consideradas para identificar las opciones que mejor se ajustan como estrategias propuestas contra inundaciones y sequías en la cuenca del río La Villa. La figura 5, muestra según el resultado del ACM las posiciones para cada alternativa de solución.

Figura 5.

Ranking de alternativas de solución.



La primera alternativa del ranking comprende una estrategia de protección blanda con la “Plantación de árboles y vegetación”. Las raíces de la vegetación frenan el agua de lluvia y reducen la escorrentía. La colocación de árboles y vegetación puede aumentar la captación de agua en la comunidad local y, como consecuencia, disminuir el flujo de agua hacia el río. Autores como Carse (2012), Berland et al. (2017), Shehayeb et al. (2024) indican cuatro aspectos clave que merecen análisis: el aumento porcentual en vegetación resistente a la sequía, la reducción porcentual de superficies impermeables, la disminución porcentual en infraestructura en riesgo en comparación con la situación umbral actual y la reducción del riesgo de inundaciones.

La segunda alternativa es una estrategia de almacenamiento “Profundización de parques y plazas”. Implica la excavación estratégica o el diseño de depresiones en espacios verdes urbanos para crear embalses o zonas de retención. El objetivo es prevenir las inundaciones urbanas, mejorar la gestión de las aguas pluviales y transformar los espacios verdes en medidas eficaces de control de las inundaciones.

La tercera solución es una estrategia de retirada “Llanuras de inundación”. Una zona de terreno situada entre el lecho estival de un río y el dique alto de invierno o la pendiente natural. Durante las mareas altas, las llanuras aluviales pueden quedar deliberadamente bajo el agua para mejorar la capacidad total de un río o crear un almacenamiento superficial temporal. Las llanuras de inundación se sitúan siempre entre el río principal y el dique de invierno o la pendiente geológica natural.

Un aspecto notable de nuestros resultados es la diferencia en la escala de implementación observada entre las diferentes soluciones. Algunas intervenciones demostraron la capacidad de una adopción generalizada, lo que resultó en un impacto a gran escala. Por el contrario, otros exhibieron una implementación más localizada. Comprender las razones subyacentes de estas diferencias es crucial para los formuladores de políticas y los profesionales que buscan diseñar e implementar intervenciones efectivas.

Además, es esencial reconocer que el presente estudio no tiene en cuenta los proyectos en curso que ya están en progreso. La falta de consideración de las iniciativas existentes dentro del alcance de la investigación podría limitar la opción de encontrar interacción entre

intervenciones concurrentes, sinergias potenciales o conflictos que surjan de implementaciones simultáneas.

El reconocimiento de que las estrategias únicas son menos efectivas impulsa un cambio hacia un enfoque más personalizado y matizado. Esta comprensión dirige la investigación futura para explorar combinaciones óptimas de soluciones. Nuestra investigación enfatiza la necesidad de ir más allá de una mentalidad de solución singular.

Alentando a buscar sinergias mediante el uso simultáneo de diversas intervenciones que ofrezcan una estrategia más integral y efectiva. aprovechar una combinación de intervenciones estratégicamente reconoce que ninguna solución única puede abordar todas las facetas de un problema complejo. La progresión lógica pasa por profundizar en la investigación encaminada a identificar las combinaciones óptimas.

En este contexto hay que resaltar que las estrategias de conservación del agua también son cruciales para la resiliencia del área del río La Villa. Estas estrategias incluyen la reparación de fugas en tuberías y sistemas de riego, la instalación de electrodomésticos y sanitarios eficientes, y la adopción de prácticas de jardinería que minimizan el consumo de agua.

Conclusiones

El estudio se inspiró en los Países Bajos y utilizó un enfoque de análisis multicriterio, revelando que plantar árboles, mejorar los parques y plazas, y utilizar las llanuras aluviales surgieron como las tres recomendaciones principales. Estas medidas, junto con los esfuerzos de colaboración entre el gobierno, la sociedad civil y los socios internacionales, no sólo pretenden abordar los problemas inmediatos en la zona del río La Villa, sino también contribuir a un plan integral para la resiliencia hídrica en todo el país. Mediante la adopción de estrategias innovadoras inspiradas en la experiencia holandesa, Panamá puede esforzarse por alcanzar su objetivo de seguridad hídrica, mitigar los efectos del cambio climático y garantizar un futuro sostenible para su población.

Implicaciones y recomendaciones

Es crucial la participación activa de las partes interesadas que se ven directamente afectadas por estos problemas, como por ejemplo las comunidades locales, los agricultores, los grupos ambientalistas, las autoridades de gestión del agua y los representantes de la industria, que poseen conocimientos invaluable sobre los aspectos matizados del problema. Al evaluar la vulnerabilidad de las estructuras existentes a las condiciones de sequía e inundaciones, se pueden identificar áreas que necesitan atención inmediata. Al mismo tiempo, se debe realizar un análisis económico para cuantificar el costo potencial del deterioro de la infraestructura, teniendo en cuenta los daños a los sistemas agrícolas y las redes de suministro de agua.

Al evaluar las soluciones propuestas, es importante considerar el espectro más amplio de beneficios que ofrecen. Más allá de abordar las preocupaciones inmediatas, estas soluciones tienen el potencial de estimular el crecimiento económico, mejorar la resiliencia ambiental y mejorar la habitabilidad. Una campaña de concientización pública resulta fundamental para transmitir estos beneficios a la comunidad. En el que no sólo se comparten las ventajas de las iniciativas propuestas sino también un sentimiento de orgullo colectivo por participar activamente contribuyendo al mejoramiento de la región. Abordar estos desafíos exige un enfoque holístico a través de la investigación, la participación de las partes interesadas y la comunicación en diferentes frentes.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a la Embajadora de Panamá ante el Reino de los Países Bajos Sra. Elizabeth Ward Neiman, al Jefe de Cooperación Técnica Internacional del IDIAP Sr. Próspero Aguirre, y al Agregado Consular del MIRE en la Embajada de Panamá en los Países Bajos Sr. Milcíades Castillo.

Referencias Bibliográficas

- Abeysinghe, A. A. S. E., Bandara, C. S., Siriwardana, C. S. A., Haigh, R., Amarathunga, D., & Dissanayake, P. B. R. (2021). Incorporation of disaster risk reduction mechanisms for flood hazards into the greensl® rating system for built environment in Sri Lanka. In ICSECM 2019: Proceedings of the 10th International Conference on Structural Engineering and Construction Management (pp. 573-587). Springer Singapore.
- Berland, A., Shiflett, S. A., Shuster, W. D., Garmestani, A. S., Goddard, H. C., Herrmann, D. L., & Hopton, M. E. (2017). The role of trees in urban stormwater management. *Landscape and urban planning*, 162, 167-177.
- Carse, A. (2012). Nature as infrastructure: Making and managing the Panama Canal watershed. *Social Studies of Science*, 42 (4), 539-563.
- Concepción, E., & Hooper, M. (2023). Aplicación de HEC-HMS para la predicción de inundaciones en la cuenca del río La Villa.
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/apanac/article/download/3933/4448>
- De Mulder, E. F., De Pater, B. C., Fortuijn, J. C. D., De Klerk, L., & Van Dijk, J. (2019). *The Netherlands and the Dutch: A physical and human geography*. Springer International Publishing.
- Evans, E. (2023). Cambio Climático y sus efectos sociales en el distrito de Tonosí, provincia de Los Santos. *Revista Panameña de Ciencias Sociales*, (7), 45-55.
- Gameda, S., Loboguerrero Rodriguez, A. M., Boa, M., Martínez Barón, D., Martiz, G., Sierra, Y., & Vanegas, L. (2014). Estado del arte en cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria en Panamá.
- Ibáñez, R., Condit, R., Angehr, G., Aguilar, S., García, T., Martínez, R., ... & Heckadon, S. (2002). An ecosystem report on the Panama Canal: monitoring the status of the forest communities and the watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, 80, 65-95.
- IMHPA. (2024). Escenarios de cambio climático.
<https://www.imhpa.gob.pa/es/escenario-cambio-climatico>
- Ministerio de Ambiente (2022). Plan nacional de acción climática de Panamá. Consultado 9 de enero de 2024. <https://transparencia-climatica.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2022/02/Plan-Nacional-de-Accion-Climatica.pdf>
- Núñez, I. M. (2023). Vulnerabilidad social por género en Panamá, de cara a los riesgos potenciales ante el cambio climático. *Synergía*, 2 (2), 180-191.

Saxion. (2022). Climate Adaptation & Biodiversity Strategy. Change and Variety. Saxion 2022 – 2030. <https://www.saxion.edu/binaries/content/assets/edu/pdf/climate-adaption--biodiversity-strategy-def.pdf>

Shehayeb, R., Ortlepp, R., & Schanze, J. (2024). A drought and heat risk assessment framework for urban green infrastructure. *Climate Resilience and Sustainability*, 3 (1), e263.

Van Maren B. & Van Der Deijl E. (2022, May 19). Four ways to save deltas from sea level rise. Disponible en: <https://www.deltares.nl/en/news/four-ways-to-save-deltas-from-sea-level-rise>

Weather Spark. (2024). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Chitré, Panamá. <https://es.weatherspark.com/y/18413/Clima-promedio-en-Chitr%C3%A9-Panam%C3%A1-durante-todo-el-a%C3%B1o#:~:text=Temperatura%20promedio%20en%20Chitr%C3%A9,m%C3%ADnima%20de%2024%20%C2%B0C>.