**IV Coloquio de Análisis y Diseño de Obras Hidráulicas**

**Soluciones basadas en la naturaleza: Una línea de acción para la preservación de los recursos hídricos**

***Nature-based solutions: A course of action for the preservation of water resources***

**Lesday Martínez Fernández1, Macyuri Álvarez Luna2,** **Ernesto Palmero Fernández3**

1-Universidad Central de Las Villas, Facultad de Construcciones, Cuba, [lesday@uclv.edu.cu](mailto:lesday@uclv.edu.cu)

2-Universidad de la Habana, Facultad de Economía, Cuba, e-mail:[macyuri.alvarez@fec.uh.cu](mailto:macyuri.alvarez@fec.uh.cu)

3- Universidad Central de Las Villas, Facultad de Construcciones, Cuba [ernestopalmero50@gmail.com](mailto:ernestopalmero50@gmail.com)

**Resumen:**

En el Informe Mundial Anual Temático sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos que elabora las Naciones Unidas, desde 2018 se trató el tema de Soluciones basadas en la naturaleza (SbN) sin afirmar categóricamente que sea una solución o remedio universal, pero su conclusión es clara: son una de las muchas herramientas importantes para efectuar la transición a un enfoque más integral de la gestión hídrica.

Se prevé que para 2050, habitarán en el planeta alrededor de 9.600 millones de personas, lo que resultará en complejos retos sociales y económicos, que incluyen la creciente demanda de uso alimentario, energético e hídrico. Esto, unido al cambio climático requiere de nuevas soluciones capaces de hacer frente a los crecientes retos de seguridad hídrica.

En la práctica internacional se manifiestan una serie desafíos que dificultan la aplicación de las SbN para la gestión de la disponibilidad y la calidad del agua y para la gestión de la variabilidad y la reducción de riesgos por desastres naturales relacionados con el agua. Entre ellos se cuentan los desafíos en el entorno del trazado de políticas, la sensibilización y percepción, los desafíos técnicos y de diseño, y por último la necesidad de recursos financieros y normativos. En nuestro país está concebido dentro del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030, la necesidad de garantizar la protección y el uso racional de los recursos naturales, la conservación de los ecosis­temas, y el cuidado del medio ambiente y del patrimonio natural de la nación en beneficio de la sociedad.

Sin embargo, en nuestra economía, la mayor parte de los recursos siguen un sistema lineal basado en la extracción, fabricación, utilización y eliminación, sin posibilidad de optar a ser reutilizados, esta práctica provoca el agotamiento de los recursos naturales, este sistema lineal se ve reflejado en el ciclo integral del agua donde ésta realiza un recorrido por diferentes fases hasta ser devuelta a la naturaleza.

Esta investigación indaga en la percepción y capacitación de los decisores de políticas para utilizar los SbN, así como recomendar su utilización en diferentes escenarios. Se concluye que el fomento de las SbN conduce a beneficios económicos y sociales, que se deben hacer esfuerzos para la concienciación y capacitación a partir de divulgar su efectividad, para mejorar la gestión y la seguridad hídrica, así como, la necesidad de apoyar las iniciativas encaminadas a buscar fuentes de financiamiento para su implementación.

***Abstract:***

*In the Annual Thematic World Water Development Report produced by the United Nations since 2018, the topic of Nature-based Solutions (NbS) was addressed without categorically stating that it is a universal solution or remedy, but its conclusion is clear: they are one of many important tools to effect the transition to a more holistic approach to water management.*

*By 2050, the planet is expected to be home to some 9.6 billion people, resulting in complex social and economic challenges, including growing demand for food, energy and water use. This, coupled with climate change, requires new solutions capable of meeting the growing challenges of water security.*

*In international practice, there are a number of challenges that hinder the application of BNS for managing water availability and quality and for managing variability and reducing risks from water-related natural disasters. These include challenges in the policy environment, awareness and perception, technical and design challenges, and finally the need for financial and regulatory resources. In our country, the National Economic and Social Development Plan until 2030 includes the need to guarantee the protection and rational use of natural resources, the conservation of ecosystems, and the care of the environment and the nation's natural heritage for the benefit of society.*

*However, in our economy, most of the resources follow a linear system based on extraction, manufacture, use and disposal, without the possibility of choosing to be reused, this practice causes the depletion of natural resources, this linear system is reflected in the integral cycle of water where it goes through different phases until it is returned to nature.*

*This research investigates the perception and training of policy makers to use NbS, as well as to recommend their use in different scenarios. It is concluded that the promotion of NbS leads to economic and social benefits, that efforts should be made to raise awareness and training based on disseminating their effectiveness, to improve water management and security, as well as the need to support initiatives aimed at seeking sources of financing for their implementation.*

**Palabras Clave:** Soluciones Basadas en la Naturaleza; Gestión Hídrica; Economía Circular

***Keywords:*** Nature-Based Solutions, Water Management, Circular Economy

**1. Introducción**

A nivel internacional se ha reconocido que las infraestructuras grises convencionales, aunque efectivas en el corto plazo, presentan limitaciones estructurales, ambientales y económicas frente a los nuevos retos de la gestión del agua. Entre estos desafíos se encuentran la contaminación difusa, la creciente frecuencia de eventos climáticos extremos, la presión sobre ecosistemas acuáticos y la desigualdad en el acceso al recurso hídrico.

Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) ofrecen una alternativa prometedora al promover la restauración, conservación o imitación de procesos ecológicos para resolver problemas vinculados al ciclo del agua. Sin embargo, su implementación generalizada aún se ve limitada por la falta de sistematización técnica, la debilidad en los marcos normativos y la escasa articulación entre sectores e instituciones. Además, existe una carencia notable para realizar el análisis comparativo entre SbN y tecnologías convencionales, así como en la validación de indicadores técnicos, ecológicos y sociales que respalden su eficacia.

En el contexto cubano, si bien se han desarrollado experiencias concretas en humedales artificiales, filtros naturales y captación de agua de lluvia, estas permanecen como iniciativas aisladas, sin que el enfoque SbN haya sido aún formalizado en las políticas hídricas nacionales. Esto evidencia la necesidad de una investigación que sistematice, evalúe y proponga herramientas metodológicas para facilitar la adopción de las SbN como parte integral de la gestión del recurso.

La presente investigación se ha trazado como objetivo: Evaluar el potencial técnico, ecológico y social de las Soluciones basadas en la Naturaleza en la gestión del agua, identificando condiciones de implementación, replicabilidad y desafíos comunes en distintos escenarios territoriales.

**1.1 Fundamentos conceptuales de las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)**

El concepto de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) ha adquirido relevancia creciente en las últimas décadas como alternativa a las infraestructuras tradicionales en la gestión del recurso hídrico. Las SbN se definen como acciones inspiradas y apoyadas por procesos naturales que buscan proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, abordando simultáneamente desafíos sociales, ambientales y económicos (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (CONAMA, 2018).

Desde el punto de vista de la Ingeniería Hidráulica, las SbN constituyen una estrategia que permite articular servicios ecosistémicos en soluciones funcionales para el ciclo del agua. Esto incluye prácticas como la restauración de riberas y humedales, la infiltración natural del agua de lluvia, la reforestación de cuencas, la reutilización ecológica del agua, y la implementación de sistemas de tratamiento descentralizados y sostenibles, entre otras (FAO, 2018; Marquet, 2020).

Las SbN se posicionan como un enfoque sistémico, multidisciplinario y adaptable. A diferencia de las infraestructuras grises convencionales —canales, represas, plantas de tratamiento— que dependen de insumos industriales y elevados costos de operación, las SbN imitan procesos ecológicos y promueven soluciones integradas al contexto biofísico y sociocultural. En este sentido, permiten mejorar la calidad del agua, aumentar la resiliencia ante eventos climáticos extremos, y promover la justicia hídrica a partir de la participación local en su diseño y gestión (UNESCO, 2018; Sánchez Núñez, 2021).

En el plano institucional, organismos multilaterales como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la UICN y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), han promovido las SbN como eje central de políticas de adaptación al cambio climático y sostenibilidad hídrica. Estas soluciones se alinean con múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el ODS 6 (agua limpia y saneamiento), el ODS 13 (acción por el clima) y el ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres) (PNUMA, 2020; AECID & IGME, 2023).

No obstante, el paso del concepto a la acción concreta exige superar limitaciones operativas relacionadas con el diseño, seguimiento y evaluación de estas soluciones. Aspectos como la selección de especies adecuadas, la caracterización hidráulica de los sitios y la disponibilidad de materiales locales resultan determinantes para su eficacia. Además, la formación técnica de los equipos implementadores y la documentación sistemática de resultados son factores clave para lograr la replicabilidad y sostenibilidad de las SbN en distintos territorios (Gidi García, 2022; Hernández Ramos, 2021).

**1.2 Economía circular y su integración con las SbN**

El enfoque de economía circular propone una transformación profunda de los modelos tradicionales de producción y consumo, sustituyendo la lógica lineal de “extraer–usar–desechar” por una dinámica regenerativa que prioriza el cierre de ciclos, la valorización de residuos y la eficiencia en el uso de los recursos. Esta perspectiva encuentra una conexión directa con las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), ya que ambas se fundamentan en principios de sostenibilidad, resiliencia y mimetismo con los procesos naturales (PNUMA, 2021; FAO, 2020).

En el contexto de la gestión del agua, la economía circular promueve estrategias como la reutilización segura de aguas residuales, la recuperación de nutrientes, la generación de biomasa a partir de plantas acuáticas, y el aprovechamiento energético de lodos residuales. Estas prácticas pueden integrarse dentro de SbN como los humedales artificiales, lagunas de estabilización o sistemas de fitopurificación, generando beneficios múltiples: saneamiento descentralizado, fertilización natural y reducción de emisiones (Hernández Ramos, 2021; Sánchez Núñez, 2021).

Además, el diseño circular de las SbN permite reducir la dependencia de insumos industriales, al emplear materiales locales como gravas, suelos, fibras vegetales o especies autóctonas. De esta forma, se minimiza la huella ecológica de las infraestructuras hidráulicas y se fortalece la soberanía tecnológica en comunidades con escasa capacidad adquisitiva (Calaza, 2021; Marquet, 2020).

Por otra parte, las SbN y la economía circular comparten un enfoque territorial que articula actores públicos, privados y comunitarios en torno a la gestión integrada del agua. Esto permite construir soluciones resilientes, adaptadas al contexto y generadoras de valor agregado, lo cual resulta especialmente relevante en zonas rurales o periurbanas con déficit de infraestructura básica (Gidi García, 2022; Revista Biomímesis, 2023).

Incorporar el principio de circularidad en las SbN no solo mejora su eficiencia técnica y ambiental, sino que también abre oportunidades de empleo verde, emprendimientos locales y cadenas productivas sostenibles vinculadas al manejo del recurso hídrico.

**1.3 Evaluación comparativa entre Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) e infraestructura gris**

La comparación entre las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y la infraestructura tradicional o “gris” ha sido objeto de creciente análisis en el campo de la ingeniería y la gestión integrada del agua. Ambas estrategias presentan fortalezas y limitaciones, pero difieren sustancialmente en su enfoque, temporalidad, resiliencia y relación con el entorno.

La infraestructura gris se basa en soluciones puramente ingenieriles, como presas, estaciones de bombeo, redes de alcantarillado o plantas de tratamiento mecanizado. Si bien estas infraestructuras son capaces de ofrecer respuestas inmediatas y controladas, suelen implicar altos costos de inversión, operación y mantenimiento, además de generar impactos ecológicos relevantes como fragmentación de hábitats, alteración de caudales y emisiones asociadas (Gidi García, 2022; Marquet, 2020).

Por su parte, las SbN aprovechan procesos ecológicos como la filtración natural, la evapotranspiración, la retención en el suelo y la actividad microbiológica para alcanzar objetivos similares, pero con enfoques sistémicos y sostenibles. Estas soluciones tienden a requerir menos energía y materiales industriales, siendo por ello más accesibles en contextos rurales o de bajo ingreso (FAO, 2018; UNESCO, 2018).

Desde el punto de vista del ciclo de vida, las SbN presentan mayores ventajas en términos de adaptabilidad, restauración de servicios ecosistémicos y beneficios colaterales: aumento de biodiversidad, mejora del paisaje, y fomento de la participación ciudadana. Sin embargo, su eficacia puede depender del diseño técnico, la selección adecuada de especies, el contexto climático y la escala de implementación (Sánchez Núñez, 2021; Benítez Caicedo, 2024).

Diversos estudios han propuesto análisis de costo-beneficio en los que se observa que, si bien las SbN pueden presentar menores rendimientos iniciales que las soluciones grises, a mediano y largo plazo generan mayores beneficios netos al reducir costos de operación, mitigar impactos climáticos y fomentar resiliencia territorial (UNESCO, 2018; PNUMA, 2020).

En términos institucionales, la implementación de SbN requiere ajustes en los marcos normativos, mecanismos de financiamiento más flexibles y la incorporación de criterios ambientales en la toma de decisiones técnicas. La gobernanza del agua debe evolucionar hacia modelos integradores que reconozcan tanto el valor tangible como intangible de los servicios ecosistémicos.

**1.4 Enfoques técnicos, ecológicos y sociales de las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)**

Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) requieren ser abordadas desde una perspectiva integradora que articule dimensiones técnicas, ecológicas y sociales. Esta visión holística resulta imprescindible para comprender su eficacia, viabilidad y escalabilidad en contextos reales, donde las condiciones biofísicas, institucionales y culturales interactúan de manera compleja. (Olmos Carbonell, 2025).

**Enfoque técnico:** Desde el punto de vista técnico, las SbN deben diseñarse considerando criterios hidráulicos precisos: capacidad de tratamiento, volumen de almacenamiento, tasas de infiltración, gradientes de escurrimiento y eficiencia de remoción de contaminantes. Aunque no requieren maquinaria sofisticada ni insumos industriales, su diseño exige conocimiento ingenieril y ecológico aplicado. Factores como el clima, el tipo de suelo, la vegetación disponible y el uso del suelo influyen directamente en su desempeño (FAO, 2018; Sánchez Núñez, 2021).

Además, el mantenimiento técnico de las SbN es generalmente bajo, pero requiere monitoreo constante para asegurar su efectividad, especialmente en sistemas como humedales artificiales, biojardines o zanjas vegetadas. La implementación de indicadores técnicos apropiados —por ejemplo, concentración de coliformes, DBO₅, sólidos suspendidos totales, turbidez— permite evaluar su rendimiento en comparación con estándares normativos (Rodríguez Sis, 2022; INTA, 2020).

**Enfoque ecológico:** Las SbN promueven la restauración y conservación de procesos naturales clave, como la filtración biológica, la recarga de acuíferos, el control de erosión y la regulación hídrica. Esto genera beneficios ecológicos directos como la recuperación de hábitats, el aumento de la biodiversidad y la mejora de la conectividad ecosistémica (UNESCO, 2018; Marquet, 2020).

Un elemento clave del enfoque ecológico es la selección adecuada de especies vegetales, particularmente en técnicas de fitorremediación y humedales. Especies como *Typha spp.*, *Scirpus spp.* o *Phragmites australis* han mostrado altas tasas de remoción de contaminantes, al tiempo que se adaptan a diferentes condiciones climáticas y tipos de agua (Benítez Caicedo, 2024; Hernández Ramos, 2021).

Asimismo, las SbN contribuyen a la mitigación y adaptación al cambio climático, al actuar como sumideros de carbono, reducir la temperatura local y aumentar la resiliencia ante eventos extremos como sequías o inundaciones. Su capacidad para mejorar los servicios ecosistémicos convierte a estas soluciones en instrumentos estratégicos para la planificación territorial sostenible (PNUMA, 2020).

**Enfoque social:** El componente social es fundamental para la implementación y sostenibilidad de las SbN. Estas soluciones favorecen la participación activa de las comunidades, especialmente en contextos rurales, donde la apropiación social del recurso hídrico y su gestión compartida refuerzan los vínculos territoriales y la gobernanza local (AECID & IGME, 2023).

La educación ambiental, la gestión participativa del diseño y mantenimiento, y la inclusión de saberes locales son elementos claves que incrementan la aceptación y el éxito de las SbN. Estudios de caso en América Latina han demostrado que los sistemas construidos con participación comunitaria tienen mayor durabilidad y adaptabilidad (Gidi García, 2022; CITA-INTA, 2020).

Finalmente, el enfoque social también incluye la evaluación de la equidad en el acceso al agua, la inclusión de grupos vulnerables y la promoción de justicia hídrica. La implementación de SbN puede convertirse en una vía para democratizar el acceso al agua y generar empleo local mediante labores de operación, mantenimiento o producción de insumos (Springgay, 2020).

**1.5 Experiencias nacionales y contexto cubano**

En Cuba, la gobernanza de las políticas ambientales y de la gestión de los recursos hídricos corresponde al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), organismo que, mediante instrumentos como la Política Nacional del Agua y el Plan de Estado para el Enfrentamiento al Cambio Climático (Tarea Vida), impulsa la integración de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) como complemento de la infraestructura hidráulica convencional.

También se han registrado experiencias en comunidades rurales donde se emplean filtros lentos de arena, captación de agua de lluvia, y sistemas de lagunas de estabilización construidos artesanalmente. Estas prácticas han sido promovidas por instituciones como el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y organizaciones de cooperación como la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), con énfasis en participación comunitaria y sostenibilidad operativa (González & Fernández, 2020).

La experiencia cubana resalta la importancia de adaptar los diseños a las condiciones locales, priorizar el uso de materiales disponibles en el entorno, y garantizar la transferencia de conocimientos a actores locales. A pesar de las limitaciones tecnológicas y económicas, estos proyectos han demostrado que es posible generar soluciones eficientes, resilientes y con bajo impacto ambiental, constituyendo un campo fértil para la expansión sistemática del enfoque SbN en la política hídrica nacional. No obstante, se reconoce que los ejemplos existentes son escasos, no siempre sostenibles en el tiempo y carecen de una estrategia integral de seguimiento y mantenimiento. Esto refuerza la necesidad de ampliar, diversificar, replicar y sistematizar estas experiencias, así como de explorar si existen documentos oficiales o estrategias normativas en el país que comiencen a incorporar formalmente el concepto de SbN.

**1.6 Contribución de las SbN al cumplimiento de los ODS y a las políticas de gestión del agua**

Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) se alinean de forma directa con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, y representan un componente estratégico dentro de las políticas globales y regionales para la gestión sostenible del agua. Su capacidad para integrar aspectos técnicos, ecológicos y sociales les permite contribuir simultáneamente a múltiples metas de desarrollo.

El ODS 6 —“Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos”— encuentra en las SbN una vía concreta para lograr avances sostenibles en acceso, calidad y eficiencia del recurso hídrico. Las SbN permiten proteger fuentes naturales de agua, mejorar su calidad sin recurrir a tecnologías intensivas, y ampliar la cobertura de saneamiento en zonas rurales mediante sistemas descentralizados como humedales o zanjas vegetadas (UNESCO, 2018; FAO, 2018).

Asimismo, el ODS 13 —“Acción por el clima”— se ve reforzado por el enfoque SbN, al incorporar soluciones que contribuyen a la adaptación al cambio climático, reducen la vulnerabilidad de comunidades ante sequías e inundaciones, y fomentan la resiliencia del territorio. La capacidad de estas intervenciones para mitigar impactos hidrológicos extremos ha sido documentada en múltiples estudios de caso (PNUMA, 2020; Calaza, 2022).

El ODS 15, enfocado en la “vida de ecosistemas terrestres”, también se ve beneficiado por las SbN, al restaurar ecosistemas degradados, recuperar corredores ribereños y aumentar la biodiversidad vinculada al agua. En este sentido, las SbN se convierten en un puente entre los objetivos ambientales y sociales del desarrollo sostenible (Marquet, 2020; Springgay, 2020).

A nivel de políticas públicas, diversos organismos multilaterales han promovido la integración formal del enfoque SbN en los planes de manejo hídrico y en los instrumentos de planificación territorial. En América Latina, plataformas con el acompañamiento de la Red de Gestión Ambiental y Desarrollo Rural en América Latina y el Caribe (GADeR-ALC), que y marcos nacionales como el Plan Nacional de Adaptación de Colombia, el Programa AGUA+ de Perú, o el Plan Nacional de Recursos Hídricos de México, han incorporado SbN en sus estrategias de gestión integrada (AECID & IGME, 2023; Hernández Ramos, 2021).

En Cuba, aunque el término SbN aún no aparece explícitamente en los documentos estratégicos, muchas de sus prácticas son compatibles con los principios del enfoque. Iniciativas como el programa “Tarea Vida”, la Estrategia Ambiental Nacional y los lineamientos del INRH para la adaptación al cambio climático, incluyen medidas de restauración de ecosistemas, manejo de cuencas y participación comunitaria en la gestión del agua, que podrían fortalecerse mediante la formalización del concepto y su integración normativa (Rodríguez Sis, 2022).

**2. Metodología**

El documento presentado corresponde a una investigación aplicada con enfoque cualitativo y cuantitativo (mixto), basada en un diseño descriptivo-analítico y estudio de caso.

Según su finalidad es una investigación aplicada ya que busca resolver problemas concretos en la gestión del agua mediante Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Su objetivo es proponer alternativas prácticas para el contexto cubano, como se evidencia en el estudio de caso del Matadero Macún y el análisis de viabilidad técnica.

Según el enfoque metodológico, es una investigación mixta, ya que emplea los aspectos cualitativos al analizar dimensiones sociales, ecológicas y normativas de las SbN mediante revisión bibliográfica y experiencias documentadas (ej. participación comunitaria, políticas públicas), mientras que, los aspectos cuantitativos son empleados al evaluar parámetros físico-químicos del agua (DBO₅, DQO, coliformes) en el estudio de caso de Macún y el muestreo en el Jardín Botánico, usando datos numéricos y comparaciones estadísticas.

Según el diseño utilizado se clasifica como una investigación descriptiva-analítica porque describe y clasifica las SbN en un inventario técnico y analiza ventajas/limitaciones frente a infraestructuras tradicionales mediante tablas comparativas.

Se emplea el estudio de caso al presentar los resultados en la aplicación de SbN en el Matadero Macún y el Jardín Botánico, evaluando resultados específicos.

Es una investigación aplicada, mixta y multidimensional, que combina métodos descriptivos, analíticos y estudio de casos para validar las SbN como alternativa sostenible en la gestión hídrica. Su enfoque práctico y su vinculación con políticas públicas la orientan hacia la resolución de problemas reales

**3. Resultados y discusión**

Se establecieron criterios de clasificación que permiten identificar la funcionalidad, viabilidad técnica y relevancia contextual de las SbN, en correspondencia con los objetivos específicos de esta investigación.

La selección de las SbN se fundamentó en una revisión bibliográfica especializada, en experiencias internacionales y nacionales documentadas, así como en propuestas validadas por instituciones técnicas y académicas. A partir de este análisis, se definieron como criterios de agrupación principales los siguientes:

* **Finalidad hidráulica**: se consideraron las funciones específicas que cumple cada SbN dentro del ciclo del agua, tales como el tratamiento descentralizado, el abastecimiento alternativo, el control de escorrentía, la recarga de acuíferos o la regulación de caudales.
* **Impacto sobre la calidad del agua**: se priorizaron aquellas soluciones que permiten la remoción de contaminantes físicos, químicos o biológicos, mediante procesos naturales como la filtración, la sedimentación, la absorción vegetal o la desnitrificación microbiana.
* **Escalabilidad y adaptabilidad**: se valoraron las posibilidades de implementación en contextos rurales y periurbanos del país, tomando en cuenta su dependencia de insumos industriales, necesidad de mantenimiento especializado y flexibilidad ante variaciones climáticas o hidrológicas.
* **Disponibilidad de materiales y conocimientos locales**: se otorgó importancia al uso de especies vegetales autóctonas, materiales del entorno y saberes comunitarios, lo cual favorece la apropiación social y reduce los costos operativos.
* **Cobeneficios sociales y ecológicos**: además de su función hídrica específica, se analizaron los beneficios adicionales que generan las SbN, como la mejora del paisaje, el aumento de la biodiversidad, la educación ambiental y la generación de empleo local.

Con base en estos criterios, se elaboró un inventario técnico compuesto por veinte fichas descriptivas de SbN, las cuales se organizaron según su finalidad funcional y su nivel de impacto en la calidad del agua. Esta estructura permite una comprensión integral de su potencial de aplicación, así como una base técnica para su futura incorporación en proyectos reales y políticas públicas en el contexto cubano, están orientadas a facilitar su interpretación tanto por profesionales del sector hidráulico como por actores comunitarios o institucionales que intervienen en la gestión del recurso. Su implementación efectiva dependerá, no obstante, del contexto específico, la disponibilidad de recursos locales y la articulación con las políticas públicas existentes.

A partir del inventario técnico elaborado y del análisis funcional de las SbN, se concluye que existen múltiples soluciones con alto potencial de aplicabilidad en el contexto cubano, especialmente en zonas rurales o con infraestructura limitada. En particular, destacan por su viabilidad y pertinencia las siguientes:

* Captación de agua de lluvia yfiltración lenta en arena, como opciones accesibles para el abastecimiento descentralizado.
* Humedales de flujo subsuperficial, lagunas de estabilización ybiojardines, como soluciones eficaces y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domésticas.
* Zanjas vegetadas,barreras vivasyreforestación de nacientes, por su capacidad para controlar la escorrentía y mejorar la calidad del agua superficial.
* Pozos de absorciónymicroreservorios naturales, por su utilidad en la recarga de acuíferos y regulación hídrica en comunidades agrícolas.

Estas soluciones, además de su bajo costo y adaptabilidad climática, aprovechan materiales locales y conocimientos tradicionales, lo que favorece su implementación comunitaria y su sostenibilidad en el tiempo. En consecuencia, se recomienda su incorporación progresiva en programas locales de gestión del agua, acompañadas de mecanismos de capacitación, monitoreo y participación social que aseguren su efectividad a largo plazo.

**Comparación entre soluciones grises y Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)**

A nivel técnico, ambas estrategias buscan resolver los mismos problemas fundamentales asociados a la gestión del agua, aunque desde enfoques conceptuales y operativos diferentes.

Mientras la infraestructura gris se basa en sistemas artificiales construidos con materiales industriales y procesos mecanizados, las SbN aprovechan mecanismos ecológicos como la infiltración, la evapotranspiración, la fitorremediación y la regulación natural de caudales. Esta diferencia fundamental condiciona aspectos como el costo, el impacto ambiental, el mantenimiento requerido y la participación social en la implementación de cada una.

Para ilustrar esta comparación, se presentan a continuación dos tablas complementarias.

La inclusión de estos resultados tabulados permite valorar el grado de correspondencia funcional entre ambos enfoques y facilita la identificación de oportunidades concretas para sustituir o complementar sistemas grises con alternativas de base natural, especialmente en contextos rurales, periurbanos o de bajo acceso a recursos tecnológicos avanzados.

Para visualizar las diferencias estructurales entre las estrategias de gestión hídrica convencionales y las basadas en la naturaleza, se presenta a continuación la Tabla 1. Esta evaluación considera criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales, permitiendo identificar las ventajas relativas de cada enfoque.

**Tabla 1. Comparación general entre infraestructura gris y SbN**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Criterio** | **Infraestructura gris** | **Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)** |
| **Enfoque técnico** | Basado en obras de ingeniería convencional (hormigón, acero, tuberías). | Utiliza procesos naturales, integra vegetación, suelo y dinámica ecosistémica. |
| **Función principal** | Control hidráulico puntual (captación, drenaje, tratamiento). | Gestión integral del recurso: regulación, filtración, recarga, retención. |
| **Costo inicial** | Alto (materiales, maquinaria, energía). | Bajo a medio (materiales locales, bajo consumo energético). |
| **Costo de operación/mantenimiento** | Alto, requiere personal técnico y equipos especializados. | Bajo, mantenimiento comunitario o con formación básica. |
| **Durabilidad** | Alta si se da mantenimiento constante. | Alta si hay manejo adaptativo; sensible al contexto ecológico. |
| **Impacto ambiental** | Negativo en muchos casos (fragmentación, impermeabilización, emisiones). | Positivo (aumenta biodiversidad, se adapta al paisaje, reduce huella ecológica). |
| **Flexibilidad/adaptabilidad** | Limitada, requiere rediseño si cambian las condiciones. | Alta, puede adaptarse al clima, al territorio y escalarse fácilmente. |
| **Cobeneficios** | Escasos o nulos. | Múltiples: paisaje, biodiversidad, educación, mitigación del cambio climático. |
| **Participación comunitaria** | Mínima o nula. | Alta, fomenta apropiación social, formación local y gestión descentralizada. |
| **Tiempo de implementación** | Corto si hay disponibilidad de recursos. | Medio a largo plazo (requiere adaptación y maduración ecológica). |

Esta comparación permite evidenciar que las Soluciones basadas en la Naturaleza no solo ofrecen un menor impacto ambiental y menores costos operativos, sino que también presentan un mayor grado de adaptabilidad y participación comunitaria. Su implementación resulta especialmente oportuna en contextos con limitaciones de infraestructura, bajos niveles de inversión y alta vulnerabilidad ecológica.

De forma complementaria, se expone a continuación en la Tabla 2, las equivalencias funcionales, donde se vinculan funciones clave dentro del ciclo hidrológico con ejemplos representativos tanto de infraestructura gris como de Soluciones basadas en la Naturaleza. Esta tabla permite observar cómo las SbN pueden sustituir o complementar estructuras convencionales en cada etapa del proceso.

**Tabla 2. Correspondencia funcional entre infraestructura gris y SbN**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Finalidad principal** | **Infraestructura gris convencional (ejemplos)** | **Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) propuestas** |
| **Tratamiento de agua y almacenamiento** | Redes de aducción, plantas potabilizadoras compactas, presas de hormigón | 1. Captación de agua de lluvia en cubierta 2. Filtración lenta en arena 3. Micro-reservorios y represas de tierra  4.Filtros de carbón activado vegetal |
| **Tratamiento de aguas residuales y grises** | Estaciones depuradoras por lodos activados, biodiscos, filtros percoladores | 5. Humedal artificial de flujo subsuperficial 6. Lagunas de estabilización 7. Biojardín filtrante 8. Fitorremediación con macrófitas 9. Coagulantes naturales de origen vegetal (semilla de Moringa oleifera) |
| **Drenaje urbano sostenible / infiltración** | Colectores pluviales entubados, pozos de absorción prefabricados | 10. Jardines de lluvia 11. Zanjas de infiltración vegetadas (swales) 12. Biocanales y cunetas verdes |
| **Recarga natural de acuíferos** | Pozos de inyección con prefiltro mecánico, recarga inducida vía galerías | 13. Amunas y canales preincaicos de infiltración 14. Pozos de recarga alimentados por zanjas 15. Terrazas de infiltración en curvas de nivel |
| **Control de erosión y estabilidad de taludes** | Mampostería de contención, geotextiles sintéticos | 16. Barreras o setos vivos 17. Estabilización de taludes con Vetiveria zizanioides 18.Cobertura vegetal/mantillos (mulching) |
| **Regulación de caudal e inundaciones / conservación** | Diques de retención, estanques de laminación, escolleras | 19. Restauración de humedales y llanuras de inundación ribereñas 20. Reforestación de cuencas y sistemas agroforestales rivereños |

La tabla demuestra que existen alternativas SbN viables para prácticamente todas las funciones hidráulicas tradicionales, desde la captación hasta el tratamiento y la recarga de acuíferos. Esta correspondencia funcional refuerza el potencial operativo de las SbN en escenarios descentralizados, como aquellos prevalecientes en muchas comunidades rurales de Cuba.

La información presentada en ambas tablas permite establecer una visión clara y estructurada sobre el grado de correspondencia entre las soluciones grises y las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Mientras que la primera tabla sintetiza los aspectos técnicos, económicos y sociales más relevantes, la segunda permite identificar equivalencias funcionales concretas que pueden orientar la toma de decisiones en contextos específicos. En conjunto, este análisis comparativo refuerza la utilidad de las SbN como alternativa eficaz y adaptable, particularmente en escenarios donde las limitaciones económicas, ambientales o institucionales hacen inviable la expansión de infraestructuras tradicionales.

En función de los objetivos específicos de la investigación, se abordan dos líneas complementarias de análisis. En primer lugar, se presenta un estudio de caso institucional: el sistema de tratamiento natural de aguas residuales instalado en el Matadero-Empacadora de Macún, el cual incorpora un humedal de flujo subsuperficial como etapa final de depuración. Este caso permite examinar los resultados históricos de calidad del agua y valorar el comportamiento del sistema bajo condiciones operativas reales.

En segundo lugar, se incorpora una experiencia de campo a pequeña escala, desarrollada en el río del Jardín Botánico de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, donde se realizó un muestreo experimental en presencia de la planta *Cyperus alternifolius*, reconocida por sus propiedades fitorremediadoras. Esta experiencia permite observar parámetros básicos de calidad del agua en contacto con vegetación natural en condiciones marginales.

A partir de estos dos abordajes, se busca extraer conclusiones sobre la aplicabilidad, eficiencia y replicabilidad de las SbN evaluadas, así como identificar las condiciones técnicas, ecológicas y sociales que favorecen su implementación exitosa en el contexto nacional.

**Estudio de caso: Tratamiento natural en Macún**

El Matadero Empacadora Macún se localiza cercano al poblado de Caguagua, Municipio Sagua la Grande.

El sistema de tratamiento se compone de una secuencia operativa que incluye: trampa de grasa, reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB, por sus siglas en inglés: Upflow Anaerobic Sludge Blanket), sedimentador secundario y humedal de flujo subsuperficial con plantas emergentes. Esta configuración permite el tratamiento progresivo de los efluentes generados durante el proceso de sacrificio y procesamiento cárnico. El humedal, en particular, juega un papel clave en la depuración final de nutrientes, sólidos disueltos y materia orgánica remanente.

A partir de los informes de monitoreo disponibles entre 2021 y 2024, se analizaron parámetros clave como: pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos sedimentables, coliformes fecales, y otros contaminantes relevantes. Los resultados se observan en la tabla 3, muestran una eficiencia progresiva del sistema, con reducciones significativas de la carga contaminante en cada etapa, destacándose la acción del humedal en la remoción final de DBO₅ y coliformes.

**Tabla 3 – Comparación de parámetros antes y después del tratamiento en Macún**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Parámetro** | **Antes del tratamiento** | **Después del tratamiento** | **Valor permitido por NC 27:2012** | **Cumple** |
| **pH** | 7.8 | 7.7 | 6.0–10.0 | Sí |
| **Conductividad eléctrica (µS/cm)** | 2000 | 1750 | ≤4000 | Sí |
| **Sólidos sedimentables (ml/L)** | 5 | 1 | ≤5 | Sí |
| **DQO (mg/L)** | 880 | 210 | ≤250 | Sí |
| **DBO5 (mg/L)** | 420 | 105 | ≤100 | No |
| **Oxígeno disuelto (mg/L)** | 0 | 2 | – | – |
| **Nitrógeno total (mg/L)** | 7 | 5 | ≤15 | Sí |
| **Fósforo total (mg/L)** | 5 | 2 | ≤10 | Sí |
| **Grasas y aceites (mg/L)** | 4 | 2 | ≤30 | Sí |
| **Parámetro** | **Antes del tratamiento** | **Después del tratamiento** | **Valor permitido por NC 27:2012** | **Cumple** |
| **Coliformes totales (NMP/100 mL)** | – | 4600 | \* | Sí |
| **Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)** | – | 680 | \* | Sí |

Según la categoría del cuerpo receptor “C”, el valor obtenido de CT, CTT no representa riego de afectar los usos del agua.

Los resultados obtenidos en el sistema de tratamiento del Matadero–Empacadora de Macún demuestran una notable eficiencia en la reducción de contaminantes clave. Parámetros como la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos sedimentables, el nitrógeno total, el fósforo total y las grasas y aceites presentan reducciones significativas que permiten cumplir con los valores establecidos por la norma NC 27:2012 para cuerpos receptores Clase Cs.

A pesar de ello, el valor de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) se encuentra ligeramente por encima del límite permitido tras el tratamiento, lo que indica una carga orgánica residual que podría ser optimizada mediante ajustes operativos o un rediseño parcial del sistema. También se observa una mejora en el oxígeno disuelto, aunque los niveles siguen siendo bajos, lo cual es característico de sistemas anaerobios y requiere seguimiento.

En cuanto a los coliformes termotolerantes y totales, las concentraciones alcanzadas posterior al tratamiento cumplen con los valores referenciales aceptados para sistemas naturales, lo cual ratifica la eficacia del humedal en la remoción microbiológica. La comparación integral sugiere que el sistema constituye una solución funcional, económica y replicable para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales en Cuba, dentro del enfoque de las Soluciones basadas en la Naturaleza.

El caso de Macún constituye una experiencia exitosa en la integración de SbN dentro del tratamiento descentralizado de aguas residuales en entornos agroindustriales. Su replicabilidad depende de la disponibilidad de espacio, adecuado dimensionamiento hidráulico y capacitación técnica local.

**Evaluación en campo de una SbN con vegetación natural (*Cyperus alternifolius*)**

Como parte del trabajo experimental de esta investigación, se desarrolló un ejercicio de muestreo de calidad del agua en condiciones reales, con el objetivo de observar el comportamiento de parámetros físico-químicos en presencia de vegetación natural con potencial fitorremediador. Esta actividad fue concebida como una experiencia complementaria a los estudios documentales, con el fin de generar evidencia preliminar sobre el funcionamiento de una Solución basada en la Naturaleza (SbN) de tipo pasivo.

El sitio seleccionado fue un tramo del río ubicado dentro del Jardín Botánico de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, caracterizado por baja velocidad de corriente, escasa alteración antrópica directa y presencia marginal de la planta *Cyperus alternifolius*. Esta especie, comúnmente conocida como “papiro paraguas”, ha sido reportada en la literatura por sus propiedades fitorremediadoras, en especial su capacidad para absorber nutrientes disueltos y mejorar condiciones como la turbidez o la carga bacteriana, si bien su acción se limita principalmente a las zonas de borde y no al espejo central del agua.

A pesar de las limitaciones del entorno —como la falta de control sobre las variables hidrológicas y la limitada cobertura vegetal— se realizó un muestreo puntual utilizando un kit de determinación multiparamétrica. Los parámetros medidos incluyeron: pH, temperatura, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (TDS), dureza total (GH), dureza de carbonatos (KH), oxígeno disuelto (OD), cloro libre residual, amonio, nitritos, nitratos y fosfatos.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores de referencia de la norma cubana NC 827:2012, a fin de evaluar la calidad del agua en relación con estándares aceptables para uso doméstico o agrícola. A continuación, se presenta en la Tabla 4 la comparación entre los valores medidos y los rangos normativos:

**Tabla 4 – Resultados del muestreo en el Jardín Botánico: comparación con la NC 827:2012**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Parámetro** | **Valor medido** | **Valor permitido** | **Cumple** |
| **pH** | 8.36 | 6.0–9.0 | Sí |
| **Temperatura (°C)** | 31 | No establecido | — |
| **Conductividad eléctrica (µS/cm)** | 540 | 0–1500 | Sí |
| **TDS (mg/L)** | 383 | 0–1000 | Sí |
| **Salinidad (mg/L)** | 270 | 0–500 | Sí |
| **Turbidez (NTU)** | 5 | 0–5 | Sí |
| **Nitrato (NO₃⁻, mg/L)** | 0 | ≤45 | Sí |
| **Nitrito (NO₂⁻, mg/L)** | 0.01 | ≤0.1 | Sí |
| **Fosfato (PO₄³⁻, mg/L)** | 2 | 0–0.2 | No |
| **Dureza total GH (mg/L CaCO₃)** | >250 | 0–500 | Sí |
| **Dureza carbonatos KH (mg/L CaCO₃)** | 178 | 0–400 | Sí |
| **Cloro libre residual (mg/L)** | 0 | 0.2–0.8 | No |

La mayoría de los parámetros medidos se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa cubana, lo que indica una calidad de agua generalmente aceptable en el entorno evaluado. Sin embargo, se detectaron excesos puntuales en la concentración de fosfatos y ausencia de cloro residual libre, lo cual puede deberse tanto a la naturaleza del cuerpo de agua como a la falta de procesos activos de desinfección o tratamiento previo.

Si bien la presencia de vegetación del tipo *Cyperus alternifolius* aporta ciertos beneficios en cuanto a retención marginal y filtración biológica, su cobertura es reducida y no coloniza el espejo de agua, por lo que su impacto fitorremediador resulta limitado en este caso.

A pesar de ello, la experiencia demuestra la viabilidad de implementar muestreos comunitarios de bajo costo, guiados por criterios técnicos accesibles, como herramienta útil para el diagnóstico básico de cuerpos de agua superficiales en condiciones rurales o periurbanas del contexto cubano.

**Consideraciones finales**

El sistema de tratamiento instalado en la planta de Macún demostró que, bajo un diseño técnico adecuado, las SbN pueden desempeñar un papel protagónico en procesos de depuración de aguas residuales agroindustriales. La integración de tecnologías como el humedal de flujo subsuperficial, en combinación con unidades anaerobias, evidenció una remoción significativa de contaminantes, con costos reducidos y bajo requerimiento energético. Esta experiencia ofrece una referencia clave para replicar soluciones similares en otros sectores productivos del país.

Por otro lado, el ejercicio de monitoreo realizado en el río del Jardín Botánico permitió observar cómo ciertas formas de vegetación natural pueden influir, aunque de manera limitada, en la mejora de parámetros físico-químicos del agua. Si bien no se trató de un sistema diseñado, el análisis de calidad realizado aporta datos reales y demuestra la factibilidad de implementar evaluaciones básicas en entornos controlados o semiurbanos, utilizando kits de bajo costo y criterios accesibles.

En conjunto, los resultados obtenidos refuerzan la idea de que las SbN no deben entenderse como alternativas meramente ecológicas, sino como soluciones técnicas completas, cuya implementación puede responder eficazmente a necesidades locales, sobre todo en contextos donde los recursos financieros, materiales o energéticos son limitados. La flexibilidad, adaptabilidad y potencial de apropiación social que ofrecen estas soluciones las convierten en herramientas estratégicas para avanzar hacia una gestión sostenible e inclusiva del agua en Cuba.

**4. Conclusiones**

* A partir del estudio realizado, se concluye que las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) representan una alternativa técnicamente viable, ecológicamente sostenible y socialmente pertinente para la gestión del agua en Cuba, particularmente en contextos rurales, periurbanos o institucionales con recursos limitados.
* La revisión conceptual permitió identificar las ventajas comparativas de las SbN frente a la infraestructura gris tradicional, en términos de eficiencia, resiliencia ambiental y costos de operación. El inventario técnico desarrollado recopiló y clasificó veinte soluciones aplicables al contexto cubano, valoradas según criterios funcionales y de impacto en la calidad del agua.
* La evaluación de experiencias concretas —como el sistema implementado en la planta de Macún y el ensayo con vegetación natural en el Jardín Botánico— demostró que, bajo condiciones adecuadas de diseño, implementación y seguimiento, las SbN pueden contribuir eficazmente al tratamiento de aguas residuales, la depuración natural de cuerpos de agua y la conservación de ecosistemas acuáticos.
* Asimismo, se evidenció el potencial de implementar monitoreos comunitarios de bajo costo como complemento a estrategias institucionales, lo que refuerza el carácter inclusivo y participativo de este tipo de soluciones.
* Finalmente, se destaca que para ampliar el uso de las SbN en Cuba es necesario fortalecer los marcos normativos, capacitar actores locales e incorporar estas soluciones en planes de ordenamiento, saneamiento y desarrollo territorial, alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la Agenda 2030.

**5. Referencias bibliográficas**

1. AECID & IGME. (2023). *Lecciones aprendidas en América Latina sobre Soluciones Basadas en la Naturaleza y Adaptación Basada en Ecosistemas*. Water Security GADERALC
2. Benítez Caicedo, Y. J. (2024). *Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante humedal con macrofitas flotantes*. Tesis de grado, Universidad de Nariño, Colombia.
3. Calaza, Pedro. (2021). *La infraestructura verde (urbana) como estrategia frente al cambio climático.*
4. CITA-INTA. (2020). *Soluciones tecnológicas para el manejo del agua en territorios rurales: captación de agua de lluvia*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina.
5. Conama, F. (2018). *Soluciones basadas en la naturaleza*. Madrid: Conama. /Solucionesbasadas-en-la-Naturaleza-CONAMA-RUMBO-2030-2018. pdf
6. FAO. (2018). *Watershed management in action: Lessons learned from FAO field projects*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
7. FAO. (2020). *Circular economy for the agri-food system: a framework for action*. Roma: FAO.
8. Gidi García, E. J. (2022). *Reutilización de aguas grises en proyectos de mejoramiento urbano: aplicación de un prototipo modular de un sistema de humedal construido en una vivienda unifamiliar.* Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile
9. González, Y. & Fernández, R. (2020). *Alternativas para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales cubanas.* Revista Ingeniería Hidráulica, 41(1), 24–35.
10. Hernández Ramos, E. M. (2021). *El papel de las Soluciones basadas en la Naturaleza en la transición hacia la sostenibilidad hídrica*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Madrid.
11. INTA. (2020). *Manual de indicadores para evaluar el tratamiento de aguas residuales en tecnologías naturales*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina.
12. Marquet, R. (2020). *Soluciones basadas en la naturaleza: ¿una panacea para el desarrollo sostenible?* Revista Iberoamericana de Desarrollo Local y Sostenible, 10(1), 41–53.
13. Olmos Carbonell, E. (2025). *Soluciones basadas en la Naturaleza para la gestión del agua: potencial, desafíos y política de investigación de la Unión Europea. Sostenibilidad: económica, social y ambiental*. (7), 149-167. https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad.28630
14. PNUMA. (2020). *Adaptación basada en ecosistemas: Manual de buenas prácticas*. Nairobi: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
15. PNUMA. (2021). *Hacia una economía circular: Perspectivas para América Latina y el Caribe*. Nairobi: ONU Medio Ambiente.
16. Revista Biomímesis. (2023). *Edición especial sobre SbN y economía circular*. Revista Biomímesis y Tecnología Verde, 4(1), 8–30.
17. Rodríguez Sis, C. A. (2022). *Estudio experimental de un humedal de flujo subsuperficial con especies nativas para tratamiento de aguas residuales*. Tesis de Maestría, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
18. Sánchez Núñez, M. (2021). *Gobernanza del agua y soluciones naturales: análisis institucional desde el enfoque ecosistémico*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
19. Springgay, E. (2020). *Agua y bosques: la función clave de los ecosistemas forestales en la seguridad hídrica*. Revista Unasylva, 70(251), 3–12.
20. UNESCO. (2018). *Nature-based solutions for water: The United Nations World Water Development Report 2018*. París: UNESCO.