

GESTIÓN SOCIOAMBIENTAL Y ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE ESPECIES MACRÓFITAS INVASORAS EN EMBALSES: PERSPECTIVAS NACIONALES Y REGIONALES

71

Marlon Javier Mera Párraga^{*1}

marlon.mera@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7710-9766>

Ezequiel Zamora-Ledezma^{*2}

ezequiel.zamora@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5315-2708>

Jimmy Manuel Zambrano Acosta^{*3}

jimmy.zambrano@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9620-1963>

¹ Carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica de Manabí (UTM), 130105, Portoviejo, Ecuador. Estudiante de la Maestría en Gestión de Proyectos, Facultad de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí (UTM), 130105, Portoviejo, Ecuador

² Grupo de Investigación Funcionamiento de Agroecosistemas y Cambio Climático - FAGROCLIM. Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad Técnica de Manabí (UTM), 13132, Lodana, Ecuador

³ Facultad de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí (UTM), 130105, Portoviejo, Ecuador

*Autores de correspondencia: Marlon Javier Mera Párraga, Ezequiel Zamora-Ledezma.

Recibido: 13/01/2024

Aceptado: 28/03/2024

Publicado: 15/04/2024

RESUMEN

El estudio aborda las problemáticas de las especies invasoras en represas de América Latina y Ecuador. Se examinan las estrategias de control y políticas públicas relacionadas. En esta revisión documental se recopiló información reciente sobre la gestión de proyectos socioambientales para controlar las especies invasoras en Latinoamérica. Se analizaron las tendencias a partir de referencias bibliográficas relevantes obtenidas de las plataformas digitales "SCOPUS" y "Google Scholar". Los criterios de búsqueda fueron: periodo 2019-2023, y la tipología de artículo o revisión. Se analiza el contexto regional del manejo de especies invasoras en embalses, y métodos de monitoreo y evaluación de proyectos, incluyendo indicadores socioambientales pertinentes. Se abordan las

problemáticas específicas presentadas y se exploran estrategias de control de especies invasoras, junto con el desarrollo de políticas y regulaciones para la restauración y conservación de embalses. Se destaca la participación de las comunidades. Se plantean reflexiones sobre escenarios futuros en la región. El estudio ofrece una comprensión más profunda de los desafíos y oportunidades asociados con la gestión de especies invasoras en el embalse Poza Honda como caso de estudio, y ofrece perspectivas valiosas para el desarrollo de políticas y estrategias de control efectivas en contextos similares.

Palabras clave: Especies invasoras, gestión socioambiental, estrategias de control, embalses en América Latina, participación comunitaria.

SOCIO-ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND STRATEGIES FOR THE CONTROL OF INVASIVE MACROPHYTES SPECIES IN RESERVOIRS: NATIONAL AND REGIONAL PERSPECTIVES

ABSTRACT

The study addresses the issues of invasive species in reservoirs in Latin America and Ecuador. Strategies for control and related public policies are examined. This literature review compiled recent information on the management of socio-environmental projects to control invasive species in Latin America. Trends were analyzed based on relevant bibliographic references obtained from the "SCOPUS" and "Google Scholar" digital platforms. Search criteria included the period 2019-2023 and article or review typology. The regional context of invasive species management in reservoirs is analyzed, along with methods for monitoring and evaluating projects, including relevant socio-environmental indicators. Specific issues are addressed, and strategies for controlling invasive species are

explored, alongside the development of policies and regulations for reservoir restoration and conservation. The involvement of communities is highlighted, and reflections are made on future scenarios in the region. The study offers a deeper understanding of the challenges and opportunities associated with managing invasive species in the Poza Honda reservoir as a case study, providing valuable insights for the development of effective control policies and strategies in similar contexts.

Keywords: Invasive species, socio-environmental management, control strategies, reservoirs in Latin America, community participation.

INTRODUCCIÓN

Las represas y embalses desempeñan un papel crucial en la gestión hídrica, la generación de energía y el suministro de agua para diversas actividades humanas y ecosistemas circundantes. Este contexto ha llevado a la construcción y operación de un número significativo de represas en Latinoamérica y en el mundo, que contribuyen de manera vital al desarrollo socioeconómico (Naranjo-Silva *et al.*, 2023). Sin embargo, el desarrollo no se exime de desafíos, y la gestión efectiva de dichos cuerpos

de agua se ha vuelto esencial para abordar problemáticas específicas, entre las cuales las especies invasoras, especialmente plantas acuáticas, han emergido como un desafío crítico para la gestión de proyectos en estos ecosistemas. (Cuthbert *et al.*, 2021)

Las represas en Latinoamérica son estructuras fundamentales para el almacenamiento de agua, la regulación de caudales y la generación de energía hidroeléctrica (International Energy Agency, 2021). Estas infraestructuras no solo sirven como pilares de la seguridad hídrica,

sino que también apuntan a satisfacer las crecientes demandas de agua para la agricultura, la industria y el consumo doméstico (Lozano & Brundu, 2018). Sin embargo, la operación extensa de represas ha dado lugar a problemáticas ambientales, entre las cuales la invasión de especies de plantas acuáticas se ha convertido en un desafío de magnitud significativa. (Britton et al., 2023)

En el mismo orden de ideas, Ecuador y otros países latinoamericanos enfrentan problemas específicos relacionados con la proliferación descontrolada de plantas invasoras en embalses, afectando la calidad del agua, la biodiversidad y la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos, así como el transporte, la recreación y el uso del agua para las comunidades que hacen vida alrededor de estos ecosistemas. (Celi & Villamarín, 2020)

El presente artículo se enfoca en explorar las problemáticas asociadas con las especies invasoras en represas de Latinoamérica, con un énfasis particular en el contexto ecuatoriano. Además, se examinan estrategias de control y políticas públicas diseñadas para gestionar y mitigar la expansión de las plantas acuáticas invasoras. Se analizarán especies específicas que han demostrado ser invasoras en represas latinoamericanas, destacando la importancia de comprender la ecología de estas

especies para desarrollar enfoques efectivos de gestión y conservación.

METODOLOGÍA

Revisión y estado actual de la gestión socioambiental y estrategias para el control de especies introducidas en embalses.

El presente estudio se basó en una revisión documental que compila información reciente sobre la gestión de proyectos socioambientales para el control de especies invasoras a nivel global, haciendo énfasis en Latinoamérica, con el fin de obtener tendencias y patrones sobre las estrategias de control utilizadas en la región.

Se realizó a partir de la búsqueda de referencias bibliográficas relevantes accediendo a las plataformas digitales de las bases de datos científico-académica “SCOPUS” y “Google Scholar”. Para delimitar la búsqueda de los artículos científicos se utilizaron los criterios observados en la tabla 2 y se aplicaron los siguientes tabuladores o filtros de búsqueda: 1) orden de aparición: Por relevancia; 2) periodo de tiempo: 2019 - 2023 (últimos 5 años); 3) Área de estudio: Ciencias ambientales, Ciencias Agrícolas, Toma de decisiones y Ciencias Sociales (este último filtro sólo aplica para SCOPUS).

Los resultados obtenidos a través de los motores de búsqueda, como se refleja en la tabla 1, revelan una

diversidad en la cantidad y tipo de contribuciones disponibles en la literatura científica en relación con la gestión de especies invasoras en represas. Cada motor de búsqueda proporciona una perspectiva única y complementaria, la búsqueda en SCOPUS resultó en la identificación de 92 artículos científicos y reviews

relevantes con un enfoque más generalizado, con una variedad de estudios que exploran diferentes aspectos de la gestión de especies invasoras en represas, desde la ecología hasta las estrategias de control aplicadas.

Tabla 1. *Criterios aplicados y resultados obtenidos en los motores de búsqueda.*

Buscador	Palabras clave	Tipo de contribución	Resultados	Publicaciones relevantes
SCOPUS	Management, dam, invasive AND species	Artículos científicos, reviews	92	25
Google Scholar	Management, dam, invasive AND, species, control AND strategies, Latin America	Artículos científicos	17.600	30

Caso de estudio: Embalse Poza Honda, Ecuador

La selección del embalse Poza Honda como caso de estudio se basa en su relevancia local y regional, siendo un cuerpo de agua crítico para las comunidades cercanas.

Se realizaron visitas técnicas para determinar la especie invasora predominante en el embalse y obtener una comprensión completa de la situación y los desafíos asociados con la invasión de especies acuáticas. Se realizaron entrevistas a miembros de la comunidad para comprender el impacto social y económico de la invasión de esta especie y se efectuó un registro fotográfico para capturar

imágenes detalladas de la infestación y sus efectos en el embalse y áreas circundantes, así como registrar cambios a lo largo del tiempo para evaluar la dinámica de la invasión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contexto regional del estudio del manejo de especies invasoras en embalses

La mayoría de los artículos científicos que arrojaba la búsqueda de SCOPUS eran de Norte América y otros países a escala global (Figura 1), lo que no reflejaba una diversidad de resultados para la región latinoamericana (excepto para Brasil). Por lo tanto, se realizó la búsqueda en *Google Scholar*, con un conjunto de palabras clave más

amplio que incluye "control AND strategies" y "Latin América," lo que proporcionó una cantidad significativamente mayor de resultados, con 17.600 artículos científicos identificados. Esta amplitud en la búsqueda sugiere una mayor cobertura de enfoques control y gestión con una atención particular a la situación en América Latina.

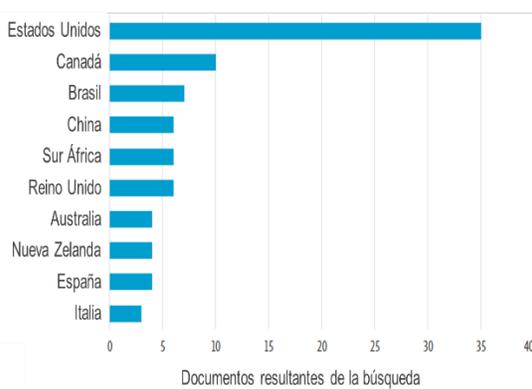


Figura 1. Resultados de la procedencia (por país) de los artículos científicos generados en el motor de búsqueda SCOPUS.

Se comprobó sistemáticamente la relevancia de todas las referencias, se consideraron todos los taxones de plantas acuáticas y animales no nativos de agua dulce que se encuentran en embalses y represas a nivel mundial, con énfasis en la región. Además, se incluyeron los artículos de revisión que presentan resultados nuevos y literatura "gris" relevante (informes técnicos y tesis académicas) que no han sido publicados en artículos científicos.

El resultado de la estrategia de búsqueda de manera sistematizada generó 55 artículos relevantes para el

presente estudio, garantizando la obtención de información pertinente, precisa y actualizada.

Importancia de los embalses y represas en América Latina

La operación general de las represas implica la regulación cuidadosa de los caudales fluviales para garantizar un suministro constante de agua para diversos usos, como riego agrícola, abastecimiento de agua potable, control de inundaciones y generación de electricidad.

Las infraestructuras hidráulicas, también conocidas como embalses, son diseñadas con el propósito de almacenar grandes volúmenes de agua, controlar su flujo y generar energía hidroeléctrica.

La generación de energía hidroeléctrica se basa en la conversión de la energía cinética o potencial del agua en electricidad mediante la rotación de turbinas conectadas a generadores eléctricos (Badr et al., 2023). El proceso aprovecha la continua fluidez de aguas en ríos y cataratas, constituyendo una fuente sostenible y renovable.

La clasificación de centrales hidroeléctricas se realiza en función de su capacidad de potencia, abarcando desde microcentrales, con menos de 100 kilovatios (KW), hasta grandes centrales, con más de 25.000

KW- (González-Salazar & Roger Poganietz, 2022)

Las represas no solo controlan las inundaciones, también permiten almacenar energía. El agua almacenada puede ser bombeada por las turbinas a alturas superiores dentro de la presa, convirtiendo la electricidad en energía potencial, y viceversa, para responder a las fluctuaciones de la demanda energética. (Naranjo-Silva *et al.*, 2023)

La abundancia de recursos hídricos en muchos países latinoamericanos ha permitido el desarrollo de proyectos hidroeléctricos a gran escala. El sector hidroeléctrico desempeña un papel importante en la economía nacional y el estilo de vida de América Latina, y la mayor cantidad de electricidad renovable proviene de embalses de agua.

Brasil lidera la producción hidroeléctrica, con 397 TWh por año y representando el 73% del consumo total de electricidad (Figura 2). Le sigue Colombia con 60,5 TWh/año, lo que representa el 81% del consumo eléctrico total y el mayor porcentaje de capacidad instalada renovable. (Escamilla-García *et al.*, 2023)

Ecuador, por su parte, produce 20 TWh/año de su capacidad total de 30 TWh/año a través de centrales hidroeléctricas, y su capacidad

instalada es el 60% de los 7,9 GW del total (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2022). Argentina, México, Perú, Chile y Panamá también contribuyen al sector hidroeléctrico de la región, cada uno con diferentes niveles de producción y capacidad instalada.

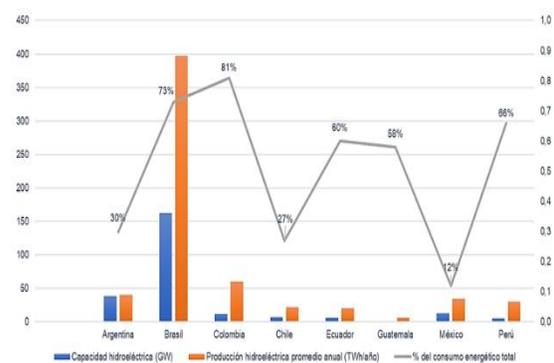


Figura 2. Capacidad energética generada por las instalaciones hidroeléctricas en Latinoamérica.

A pesar de las diferencias en producción y capacidad, es claro que el sector hidroeléctrico es un actor primordial en el panorama energético de América Latina. Muchos países latinoamericanos buscan desarrollar más proyectos hidroeléctricos grandes para satisfacer la creciente demanda de electricidad, pero los sitios viables parecieran agotarse.

El desarrollo de centrales hidroeléctricas de pequeña escala puede ofrecer una alternativa más confiable frente a eventos meteorológicos como las sequías (International Energy Agency, 2021). Sin embargo, la construcción de represas más grandes puede tener efectos perjudiciales en los

ecosistemas y comunidades circundantes.

Además de la generación de energía, las represas desempeñan un papel crucial en el manejo de los recursos hídricos para usos múltiples. Proporcionan reservas estratégicas de agua que pueden ser liberadas según las necesidades estacionales, garantizando un suministro constante para la agricultura, el abastecimiento de agua urbano e industrial, y la mitigación de eventos extremos como las inundaciones. En este sentido, las represas actúan como reguladores hídricos que permiten la planificación y gestión sostenible de los recursos naturales.

Problemáticas presentadas en represas de Latinoamérica y Ecuador

Las represas en Latinoamérica enfrentan diversas problemáticas que impactan tanto en la operación de dichas infraestructuras como en los ecosistemas acuáticos. Una de las preocupaciones significativas es la invasión de especies acuáticas no nativas, un fenómeno que compromete la salud de los cuerpos de agua y genera consecuencias negativas para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Linares *et al.*, 2020). Esta problemática presenta desafíos específicos que requieren atención y gestión especializada.

Las especies invasoras, al establecerse en estos ecosistemas, desencadenan

una serie de impactos que socavan la salud y la diversidad biológica de los embalses (Ayanda *et al.*, 2020; Coetzee & Hill, 2020). Su presencia puede desplazar a especies nativas, provocando cambios en la composición y estructura de las comunidades biológicas.

El desplazamiento puede generar cascadas tróficas, afectando la disponibilidad de recursos y, en última instancia, comprometiendo la biodiversidad del ecosistema (Chukwuka & Adeogun, 2023). Además, la introducción de especies invasoras puede alterar las relaciones simbióticas y la coevolución que han evolucionado a lo largo del tiempo, afectando la capacidad del ecosistema para proporcionar servicios ecosistémicos esenciales, como la purificación del agua, la polinización y la regulación del clima local.

La gestión y el control de plantas invasoras enfrentan desafíos significativos, como la falta de participación pública, conflictos de objetivos y medidas de control costosas (Ahmed *et al.*, 2023). Estos desafíos deben ser abordados desde la dirección de proyectos mediante enfoques participativos, alineación de objetivos y evaluación constante de la eficacia de las medidas implementadas, una gestión y políticas socioambientales efectivas son esenciales para controlar las

plantas invasoras introducidas en las represas, considerando los impactos ecológicos y económicos que pueden tener en los ecosistemas de agua dulce. (de Sousa Lopes & Brito, 2021)

Estrategias de gestión para el control de especies de plantas acuáticas invasoras

Existen varias estrategias de gestión socioambiental efectivas para controlar las plantas invasoras introducidas en los ecosistemas de represas.

Primeramente, la prevención de la introducción de especies no nativas es fundamental para salvaguardar la biodiversidad en ecosistemas de agua dulce. (Hutchins *et al.*, 2023)

Establecer medidas de bioseguridad en los puntos de entrada, como puertos y embalses, puede reducir significativamente el riesgo de introducción accidental. (Sanabria *et al.*, 2022)

Así mismo, la implementación de sistemas de alerta temprana y medidas de reacción rápida es esencial para controlar y erradicar nuevas invasiones antes de que se establezcan y se vuelvan difíciles de gestionar, se conoce que la detección temprana de las especies no nativas permite en la mayoría de los casos la erradicación de la especie invasora en el ecosistema de agua dulce (Figura 3).

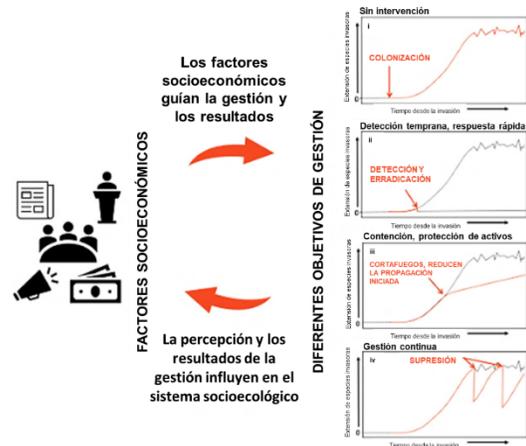


Figura 3. Patrón de crecimiento logístico hacia el equilibrio dinámico con las condiciones ambientales
Fuente: Robichaud *et al.* (2023).

Las tres estrategias predominantes empleadas para el control de especies invasivas son: 1) el control químico, 2) el control físico (mecánica) y 3) el control biológico o biocontrol. (Ilo *et al.*, 2020)

Control químico: Se destaca por ser una opción relativamente económica, aunque su viabilidad a largo plazo se ve cuestionada debido a sus impactos adversos en el medio ambiente (Karouach *et al.*, 2022). La aplicación de sustancias químicas para el control de especies invasivas plantea preocupaciones significativas sobre la salud de los ecosistemas circundantes y su capacidad para resistir a largo plazo. (Britton *et al.*, 2023)

Control físico: Contrastando con el control químico, la estrategia mecánica requiere el uso de maquinaria y ha demostrado ser eficaz en la recuperación de cantidades considerables de biomasa (Britton *et*

al., 2023). Sin embargo, su adopción se ve limitada por los costos asociados, que abarcan desde el equipo mecánico hasta la mano de obra, además de la necesidad de realizar inversiones iniciales sustanciales. Aunque posee un potencial significativo, la implementación del control mecánico a menudo se ve obstaculizada por estas barreras financieras. (Rico-Sánchez *et al.*, 2021)

Control biológico: Emerge como un enfoque optimista y sostenible para abordar la proliferación de especies invasivas, especialmente en el caso de "jacintos de agua" (Motitsoe *et al.*,

2020). Este método se distingue por su capacidad para reducir las ventajas competitivas de las plantas invasivas sobre las nativas, presentando así una solución más equilibrada y respetuosa con el medio ambiente. No obstante, a pesar de su potencial prometedor, existe una falta percibida de evidencia experimental sólida que respalde su eficacia. (Gallardo *et al.*, 2016)

La tabla 2 proporciona una descripción de diferentes mecanismos de gestión utilizados para controlar la proliferación de especies de plantas invasivas en embalses o represas, junto con las ventajas asociadas a cada uno de ellos.

Tabla 2. Mecanismos de Gestión para el Control de Especies Invasivas en Embalses y Represas: Descripción y Ventajas.

Mecanismo de Gestión	Descripción	Ventajas
Control Manual	Consiste en la eliminación física de las plantas invasoras mediante la mano de obra humana o maquinaria especializada. Suele ser efectivo para poblaciones pequeñas.	Preciso y dirigido a áreas específicas No requiere el uso de productos químicos
Herbicidas	Utilización de productos químicos específicos para eliminar las plantas invasoras. Requiere aplicación cuidadosa para minimizar impactos en el ecosistema acuático.	Eficaz para grandes áreas infestadas Puede controlar una amplia variedad de especies invasoras
Control Biológico	Introducción de organismos que son depredadores naturales de las plantas invasoras para controlar su población. Debe hacerse con precaución para evitar efectos no deseados en otras especies.	Enfoque sostenible y de bajo impacto ambiental Puede ser autónomo una vez establecida la población controladora

Barreras Físicas	Instalación de barreras físicas, como redes o membranas, para prevenir la dispersión de semillas o fragmentos de plantas invasoras.	Efectivo para prevenir la propagación de plantas invasoras No requiere el uso de productos químicos
Dragado	Eliminación de sedimentos y material orgánico acumulado en el embalse que proporciona hábitat para las plantas invasoras. Puede ser costoso y disruptivo para el ecosistema acuático.	Puede eliminar rápidamente grandes cantidades de material orgánico Restaura la capacidad de almacenamiento de agua en el embalse
Manejo del Nivel del Agua	Alteración del nivel del agua en el embalse para controlar la proliferación de plantas invasoras. Por ejemplo, se puede bajar el nivel del agua para exponer y secar las plantas invasoras.	Control directo sobre el ambiente acuático Puede ser una medida de control de bajo costo y bajo impacto ambiental
Restauración de Ecosistemas	Implementación de acciones para restaurar la salud del ecosistema y aumentar la resistencia a las especies invasoras. Puede incluir la reintroducción de especies nativas y la restauración de hábitats.	Promueve la biodiversidad y la resiliencia del ecosistema Aborda las causas subyacentes de la invasión y no solo los síntomas
Monitoreo y Vigilancia	Establecimiento de programas de monitoreo y vigilancia para detectar tempranamente la presencia de plantas invasoras y tomar medidas de control antes de que se establezcan poblaciones grandes y difíciles de manejar.	Permite una respuesta rápida a nuevas invasiones Identifica áreas críticas para la gestión de manera proactiva

El control manual implica la eliminación física de las plantas invasoras y es particularmente efectivo en áreas pequeñas y localizadas. Los herbicidas son útiles para el control de grandes áreas infestadas, aunque requieren una aplicación cuidadosa para minimizar los impactos ambientales (Dechassa & Abate, 2020). El control biológico

involucra la introducción de organismos depredadores naturales para controlar las poblaciones invasoras, siendo una opción sostenible con bajo impacto ambiental.

Las barreras físicas, como redes o membranas previenen la dispersión de semillas o fragmentos de plantas

invasoras. El dragado elimina sedimentos acumulados que proporcionan hábitat para las plantas invasoras, aunque puede ser costoso y disruptivo. (Abelando, 2021)

El manejo del nivel del agua altera el nivel del embalse para controlar la proliferación de plantas invasoras, siendo una medida de bajo costo y bajo impacto. La restauración de ecosistemas promueve la biodiversidad y la resiliencia del ecosistema, abordando las causas subyacentes de la invasión. (Geist & Hawkins, 2016)

Finalmente, el monitoreo y la vigilancia permiten una respuesta rápida a nuevas invasiones y la identificación proactiva de áreas críticas para la gestión (Buchadas *et al.*, 2017). Cada mecanismo tiene sus ventajas únicas, y la elección del enfoque más adecuado dependerá de la situación específica y los objetivos de gestión.

La participación activa de las comunidades locales se erige como pieza fundamental ante la aplicación de las estrategias de control previamente delineadas. La implicación directa de las comunidades en la gestión y monitoreo de las especies invasoras no solo fortalece la eficacia de las medidas, sino que también fomenta un sentido de responsabilidad compartida hacia la preservación de

los embalses (de Sousa Lopes & Brito, 2021). Para ello, es esencial desarrollar programas de educación ambiental que aborden específicamente las actividades agrícolas y el uso excesivo de fertilizantes. (Chukwuka & Adeogun, 2023)

La comprensión de cómo estos factores contribuyen a la proliferación de especies invasoras, especialmente mediante la escorrentía que llega a los embalses, es crucial para prevenir y reducir los impactos negativos.

La educación ambiental debe centrarse en informar sobre los riesgos asociados con las prácticas agrícolas, y en promover prácticas más sostenibles y amigables con el medio ambiente. (Araujo *et al.*, 2019; Thi Nguyen *et al.*, 2015)

Proporcionar a las comunidades locales herramientas para implementar técnicas agrícolas que minimicen la escorrentía de nutrientes hacia los embalses puede marcar una diferencia significativa en la mitigación de la proliferación de especies invasoras. (I. Ibáñez *et al.*, 2021)

La conciencia sobre la interconexión entre las acciones humanas y la salud de los ecosistemas acuáticos refuerza la importancia de la participación comunitaria en la gestión ambiental.

Además, es imperativo impulsar iniciativas destinadas a la restauración y conservación de la biodiversidad en los embalses afectados. Estas iniciativas pueden incluir la implementación de proyectos de reforestación, la creación de corredores ecológicos y la restauración de hábitats naturales (Estrada Fernández, 2023; Linares *et al.*, 2020). Asimismo, la reintroducción estratégica de especies nativas se presenta como una medida esencial para restablecer el equilibrio del ecosistema (Edgerton *et al.*, 2022). La diversidad biológica es crucial para la resiliencia de los embalses frente a las amenazas de las especies invasoras, y la reintroducción cuidadosamente planificada de especies autóctonas contribuye a recuperar la funcionalidad y estabilidad del ecosistema acuático.

Desarrollo de políticas y regulaciones en materia de restauración y conservación de embalses.

El desarrollo de políticas y regulaciones en materia de restauración y conservación de embalses es fundamental para abordar la problemática de las plantas invasoras introducidas en estos ecosistemas. Estas políticas desempeñan un papel crucial al influir en el control de estas especies en las cuencas de captación de las represas (García-Díaz *et al.*, 2021). La

legislación y los reglamentos son herramientas importantes para gestionar las especies exóticas invasoras. La prohibición de la venta y liberación, la responsabilidad del propietario de la tierra y el uso de herbicidas son algunos ejemplos de medidas implementadas en diferentes países para gestionar las plantas acuáticas exóticas invasoras (Prieto *et al.*, 2012).

Es oportuno considerar evaluaciones de impacto ambiental y mejores prácticas antes de la construcción de estructuras hidráulicas. La modificación de estructuras hidráulicas puede facilitar involuntariamente la dispersión de especies acuáticas invasoras, lo que resalta la necesidad de medidas proactivas para prevenir su propagación. (Ollero, 2017)

Al implementar estas medidas políticas y de gestión, se pueden mitigar los impactos ecológicos de las plantas invasoras introducidas en las represas, asegurando la preservación de los ecosistemas de agua dulce y los servicios que brindan (Mirassou & Bertranou, 2009). Todo esto se traduce evidentemente, en una mejora de la calidad de vida y de los servicios ecosistémicos que ofrece el embalse o recurso hídrico bajo un esquema de manejo adecuado.

Además de los beneficios ambientales, estas políticas pueden tener un

impacto positivo en el desarrollo socioeconómico del Ecuador. La gestión efectiva de las especies exóticas invasoras en los embalses puede proteger las fuentes de agua dulce, asegurando un suministro confiable para el consumo humano, la agricultura y la industria. (Reglamento Ley Recursos Hídricos Usos Y Aprovechamiento del Agua, 2015; SENAGUA, 2016)

Esto, a su vez, promueve la estabilidad económica al garantizar la disponibilidad de recursos hídricos para sectores clave de la economía. Asimismo, la conservación de los ecosistemas acuáticos contribuye al turismo sostenible, fomentando la creación de empleo y el desarrollo de comunidades locales. (Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento Del Agua, 2014)

También, al implementar medidas de control de especies invasoras, se promueve la investigación científica y la innovación en tecnologías de gestión ambiental, lo que puede generar nuevas oportunidades económicas y fortalecer la competitividad del país en el ámbito internacional.

Participación de las comunidades y actores relevantes

La participación activa de las comunidades locales en la gestión de embalses es esencial para abordar eficazmente el problema de las

especies invasoras. Definir estrategias para fomentar este involucramiento puede incluir la creación de programas de educación ambiental, la organización de talleres comunitarios y la implementación de actividades de monitoreo participativo. (Brazeiro, 2018)

Al involucrar a las comunidades en el proceso de toma de decisiones y en la implementación de medidas de control, se fortalece el sentido de propiedad y responsabilidad sobre los recursos naturales locales, lo que puede conducir a resultados más efectivos y sostenibles en la conservación de embalses. (Aber *et al.*, 2012)

La colaboración con expertos en control de especies invasoras y autoridades ambientales es fundamental para desarrollar e implementar estrategias efectivas de gestión. Las instituciones de investigación desempeñan un papel crucial en la evaluación de la efectividad de los métodos de control y en la generación de conocimiento científico para respaldar la toma de decisiones informadas.

Al establecer alianzas con estos expertos y autoridades, se garantiza una gestión basada en la evidencia y en las mejores prácticas disponibles. Los impactos potenciales de las plantas invasoras en embalses son diversos y pueden afectar a múltiples

aspectos de la sociedad y del medio ambiente. Por lo tanto, es fundamental contar con una gestión integrada y multisectorial que involucre a diversos actores, incluidos el gobierno, las comunidades locales, el sector privado y las organizaciones sin fines de lucro.

La función pública igualmente desempeña un papel crucial en la promoción de políticas y regulaciones adecuadas, así como en la coordinación de esfuerzos entre diferentes entidades para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos en embalses.

Todo esto se traduce en que la participación ciudadana, la articulación multisectorial y el compromiso de la función pública son elementos clave para fortalecer la gestión de proyectos sostenibles en embalses. (Shackleton *et al.*, 2019)

Al trabajar en conjunto se puede abordar de manera efectiva los desafíos relacionados con las especies invasoras y garantizar la preservación de estos significativos ecosistemas de agua dulce para las generaciones futuras. La gestión sostenible de embalses requiere un enfoque integral que aborde tanto los aspectos ambientales como sociales de manera equilibrada.

En primer lugar, es crucial implementar medidas de control de

especies invasoras que minimicen su impacto en el ecosistema acuático. Esto puede incluir la aplicación de métodos de erradicación selectivos y la promoción de prácticas de manejo integrado que reduzcan la propagación y el establecimiento de estas especies.

Es fundamental monitorear de manera continua la efectividad de estas medidas y ajustarlas según sea necesario para garantizar resultados a largo plazo. Al mismo tiempo, es necesario considerar los aspectos sociales de la gestión, involucrando activamente a las comunidades locales en el proceso de toma de decisiones y promoviendo prácticas de uso sostenible de los recursos hídricos. (Shackleton *et al.*, 2019)

Esto puede incluir la implementación de programas educativos, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y el establecimiento de áreas protegidas en torno a los embalses para conservar la biodiversidad y proteger los servicios ecosistémicos.

Promover la colaboración y la coordinación entre diferentes actores es de interés, incluidas las autoridades gubernamentales, las instituciones de investigación, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado. Esto puede facilitar el intercambio de información y la cooperación en la implementación de estrategias de

control de especies invasoras, así como en la gestión integrada de los embalses. Asimismo, es importante establecer políticas y regulaciones claras que promuevan la conservación de embalses y la protección de su biodiversidad, al tiempo que se fomenta el desarrollo socioeconómico de las comunidades locales de manera sostenible.

En última instancia, la gestión sostenible de embalses y el control de especies invasoras son elementos clave para garantizar la salud y la resiliencia de estos ecosistemas vitales, tanto para la biodiversidad como para las comunidades humanas que dependen de ellos.

Monitoreo y evaluación de proyectos para el control de especies invasoras.

El estudio y monitoreo de especies invasoras debe darse desde un enfoque integral para gestionar los impactos de estas especies al integrar cinco criterios en tres etapas distintas (García-Díaz *et al.*, 2022). En la primera etapa, los participantes utilizan información existente para evaluar los impactos de las especies invasoras de manera semicuantitativa y cualitativa. Esto resulta en un catálogo de resultados de impacto categorizados por activos y mecanismos de impacto.

La segunda etapa prioriza estos resultados de impacto según su

magnitud e incertidumbre, clasificándolos en cuatro categorías de acción de alto nivel: no intervenir, monitorear, investigar y gestión activa inmediata.

En la tercera etapa, los participantes definen indicadores cuantitativos para medir los resultados de impacto, lo que ayuda a comprender y dar seguimiento al progreso del plan de gestión (Figura 4). El estudio enfatiza un enfoque en resultados de impacto y acciones flexibles, justificables y cuantificables.



Figura 4. Enfoque secuencial sistemático para la ejecución de planes de gestión de alto nivel para el control de especies invasoras.

Fuente: García *et al.* (2022).

La primera etapa se basa en listas y métodos estandarizados de la Clasificación de Impacto Ambiental de Taxones Exóticos (EICAT, por sus siglas en inglés) (UICN, 2023) pero se extiende más allá, abarcando impactos potenciales y resultados individuales. La segunda etapa implica la priorización, y la tercera etapa introduce indicadores cuantitativos

para la medición en la vida real. El protocolo del estudio, aunque basado en herramientas existentes, ofrece una perspectiva más amplia, incorporando impactos realizados y potenciales, resultados individuales e impactos en diversas categorías de activos. (UICN, 2019)

Para la segunda etapa definen e identifican los indicadores clave para evaluar el progreso del proyecto como por ejemplo frecuencia de limpieza de embalses, seguimiento de la expansión de la especie invasora de estudio, entre otros. Posteriormente, se establece un sistema regular de seguimiento para ajustar estrategias según sea necesario (Actualización mensual del estado de los embalses y ajuste de estrategias en consecuencia).

Indicadores socioambientales relevantes en el control de especies invasoras.

En cuanto a indicadores ambientales, (Vermaat *et al.*, 2023) realizaron un análisis de indicadores para evaluar el impacto ecológico de especies invasoras en la flora y fauna acuática asociados a las funciones ecosistémicas, los servicios ecosistémicos y la estimación de

costos. Entre los más importantes asociados a las funciones y servicios ecosistémicos se abordan los cambios en la biodiversidad, la calidad del agua, y la obstrucción de vías fluviales (Figura 5).

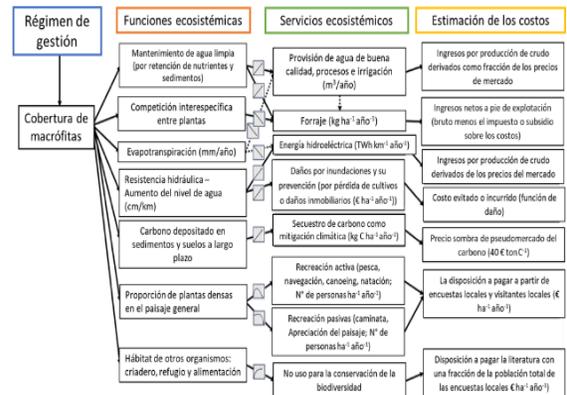


Figura 5. Esquema de indicadores derivados a partir de la cubierta de macrófitos y las funciones de los ecosistemas en términos biofísicos y valores monetarios.

Fuente: Adaptado de Vermaat *et al.* (2023).

Por otro lado, los indicadores sociales proporcionan una estructura sólida para evaluar y comprender los impactos multifacéticos de las especies invasoras en cuerpos de agua dulce desde una perspectiva social y económica, reflejando el impacto de la invasión en las comunidades locales (Tabla 3).

Tabla 3. *Indicadores sociales planteados por de Sousa Lopes y Brito, (2021) para la determinación del impacto social de las especies invasoras en cuerpos de agua dulce.*

Indicador de impacto social	Descripción	Uso
Cambios en el acceso al agua	Evalúa las modificaciones en la disponibilidad y accesibilidad del agua para las comunidades locales, considerando la presencia de especies invasoras.	Medir el impacto en la disponibilidad de agua para consumo, riego y actividades recreativas.
Pérdidas económicas derivadas de la pesca y la agricultura	Cuantifica las pérdidas económicas directas asociadas a la disminución de la productividad pesquera y agrícola debido a las especies invasoras.	Evaluar el impacto financiero en las actividades económicas dependientes de los cuerpos de agua.
Pérdida de zona de ocio	Mide la reducción de áreas de recreación y esparcimiento a causa de las especies invasoras.	Evaluar el impacto en la calidad de vida de las comunidades locales.
Reubicación comunitaria	Examina la necesidad de trasladar comunidades enteras debido a los impactos negativos de las especies invasoras.	Identificar la magnitud de la interferencia en las comunidades locales.
Disminución de los ingresos	Evalúa la reducción en los ingresos de las comunidades locales como resultado de los impactos económicos y sociales generados por especies invasoras.	Cuantificar el impacto financiero a nivel comunitario.
Impacto en el turismo	Analiza cómo las especies invasoras afectan la atraktividad turística de los cuerpos de agua.	Evaluar el impacto en la industria turística local.
Desestructuración de bonos	Evalúa la disolución de la cohesión social y la desorganización comunitaria como resultado de los impactos negativos de las especies invasoras.	Comprender el impacto en las relaciones y dinámicas comunitarias.
Aumento de robos y violencia	Examina el aumento de actividades delictivas y actos violentos asociados a las consecuencias sociales y económicas de las especies invasoras.	Identificar impactos en la seguridad comunitaria.
Aumento del consumo de alcohol	Evalúa el incremento en el consumo de alcohol como una posible respuesta a los desafíos socioeconómicos derivados de las especies invasoras.	Comprender los comportamientos de afrontamiento en contextos impactados.
Miedo a la rotura de la represa	Analiza el temor de las comunidades locales ante la posible ruptura de la represa debido a los impactos de las especies invasoras.	Evaluar la percepción del riesgo y su impacto psicológico.
Desempleo	Cuantifica la pérdida de empleos directos e indirectos vinculados a actividades afectadas por especies invasoras.	Medir el impacto en la estabilidad laboral de las comunidades locales.

La utilización de indicadores sociales en la gestión de especies invasoras acuáticas en embalses es esencial para comprender y abordar los impactos integrales de estas invasiones en las comunidades locales. (Chukwuka & Adeogun, 2023)

Estos indicadores proporcionan una evaluación detallada de los efectos en aspectos cruciales como el acceso al agua, pérdidas económicas, calidad de vida y seguridad comunitaria. La consideración de cambios en el acceso al agua y las pérdidas económicas derivadas de la pesca y la agricultura permite cuantificar de manera precisa el impacto financiero y económico en las actividades esenciales de las comunidades. (Hanley & Roberts, 2019)

Además, indicadores como la reubicación comunitaria y el miedo a la rotura de la represa ofrecen perspectivas valiosas sobre las dimensiones sociales y psicológicas de la invasión, informando decisiones estratégicas y acciones de mitigación. (de Sousa Lopes & Brito, 2021)

La comprensión de estos indicadores contribuye a diseñar políticas y medidas específicas que no solo aborden los aspectos biológicos de las especies invasoras, sino también protejan el tejido social y económico de las comunidades afectadas, promoviendo una gestión más efectiva

y sostenible de los ecosistemas acuáticos.

Plantas acuáticas invasoras de interés para la gestión de embalses y cuerpos de agua en América Latina y Ecuador.

Entre las especies predominantes encontradas en la región que inciden en el funcionamiento y operatividad de embalses, así como la dinámica ecosistémica en los cuerpos de agua naturales se encuentran las siguientes: *Salvinia molesta* (D.S. Mitchell), también conocida como *Salvinia gigante*, es otra planta invasora común en represas y embalses de América Latina, incluido Ecuador. Esta especie de helecho flotante puede formar densas capas que cubren la superficie del agua, limitando la entrada de luz solar y reduciendo los niveles de oxígeno disuelto. (Coetzee & Hill, 2020)

Como resultado, la *salvinia gigante* altera el equilibrio ecológico del ecosistema acuático, afectando negativamente la vida silvestre nativa y los servicios ecosistémicos. (Motitsoe *et al.*, 2020)

Hydrilla verticillata es una planta acuática invasora conocida por su rápido crecimiento y su capacidad para formar densos tapetes en embalses y cuerpos de agua en América Latina (Lozano & Brundu, 2018). Esta especie puede desplazar a

las plantas acuáticas nativas, alterar los patrones de flujo de agua y afectar negativamente la calidad del agua. En Ecuador y otras regiones de América Latina, la presencia de *H. verticillata* representa un desafío significativo para la gestión de los recursos hídricos y la conservación de la biodiversidad acuática. (Middleton, 2019)

La yerba de charco (*Ludwigia peploides*) es otra especie invasora que ha proliferado en muchos cuerpos de agua de América Latina, incluido Ecuador (Aguirre et al., 2021). Con su rápido crecimiento y capacidad para formar densas colonias, la yerba de charco desplaza a las especies acuáticas nativas y altera los ecosistemas acuáticos locales. Su presencia puede comprometer la calidad del agua, reducir la biodiversidad y afectar negativamente las actividades económicas y recreativas que dependen de los cuerpos de agua. (Hussner et al., 2017)

La lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) es otra planta invasora común en represas y embalses en América Latina, que afecta la biodiversidad y la calidad del agua (Britton et al., 2023). Con su capacidad para formar densas agrupaciones flotantes, la lechuga de agua reduce la entrada de luz solar, agota los niveles de oxígeno y crea condiciones desfavorables para la vida acuática nativa (Simberloff,

2021). En Ecuador, la gestión efectiva de la lechuga de agua es fundamental para proteger los ecosistemas acuáticos y los servicios que proporcionan a las comunidades locales.

El Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) comúnmente conocida como lechugín o flor de agua, es una planta de rápido crecimiento que se ha convertido en una de las especies invasoras más preocupantes en los cuerpos de agua dulce de América Latina, incluyendo Ecuador. Su capacidad de formar densas matas flotantes que cubren la superficie del agua, impidiendo la penetración de la luz solar y afectando la oxigenación del ecosistema acuático (Ayanda et al., 2020), interfiriendo con la navegación, la recreación y la pesca (Abelando, 2021). Además, esta planta afecta negativamente la biodiversidad al crear condiciones desfavorables para las especies nativas y reducir la calidad del agua y los servicios ecosistémicos. (Karouach et al., 2022)

La invasión de *E. crassipes* en embalses presenta un desafío significativo para la gestión ambiental y la conservación de la biodiversidad en América Latina, incluido Ecuador. Como resultado, se alteran los ciclos naturales del agua, lo que conduce a la degradación de los hábitats acuáticos y a la disminución de la

biodiversidad, desplazando a las especies nativas y reduciendo la disponibilidad de alimentos y refugio para la vida acuática. (Giovanny *et al.*, 2020)

Además del impacto ambiental, la presencia de *E. crassipes* en embalses también tiene graves implicaciones económicas y sociales (MAATE, 2013). La obstrucción de los cuerpos de agua por estas densas matas vegetales puede interferir con actividades económicas clave como la navegación, la pesca y el turismo. (Araujo *et al.*, 2019)

La reducción de la accesibilidad a los embalses afecta a las industrias directamente relacionadas y puede tener repercusiones en las comunidades locales que dependen de estos recursos naturales para su sustento.

Igualmente, los costos asociados con la gestión y control de *E. crassipes* pueden ser significativos para los organismos encargados de la administración de los embalses y los recursos hídricos. (Dechassa & Abate, 2020)

En este sentido, la presencia invasiva de esta planta acuática no solo afecta al medio ambiente, sino que también influye en la economía local y en el bienestar social de las comunidades que dependen de estos ecosistemas acuáticos.

Caso de estudio embalse poza honda, ecuador: historia, capacidad y beneficiarios del embalse

La presa de Poza Honda, situada en la provincia de Manabí desempeña un papel crucial al proporcionar agua potable a las ciudades de Portoviejo, Manta, Santa Ana, Rocafuerte, Jipijapa, Montecristi, Jaramijó, 24 de Mayo y Sucre, además de contribuir a la irrigación de extensas hectáreas de cultivo. La proliferación de lechuguines en los ríos que abastecen esta presa condujo a su presencia excesiva en el embalse.

El primer registro documentado de esta proliferación descontrolada data de 1998, cuando la Cooperativa de Transporte Fluvial Poza Honda, junto con comuneros de localidades vecinas, el municipio de Santa Ana y la Corporación Reguladora de Manejo Hídrico de Manabí (CRM), asumió la responsabilidad de limpiar la situación.

A principios de 2006, el aumento desmesurado y la propagación de lechuguines, alcanzando alrededor de 300 hectáreas, se convirtieron en un problema grave no solo para las pequeñas comunidades locales sino también para todos los cantones que dependían de este embalse. Esto afectó directamente la calidad del agua potable, la irrigación de tierras de cultivo y el transporte de la población cercana al embalse.

El Jacinto de Agua, también conocido como lechuguín (*E. crassipes*), ha sido catalogado entre las 100 malezas más invasoras a nivel mundial (Karouach *et al.*, 2022; Shen *et al.*, 2023). Este invasor presenta una alta capacidad adaptativa y reproductiva, propagándose vegetativamente mediante estolones y sexualmente a través de semillas resistentes que pueden sobrevivir en el agua por hasta seis años. (Su *et al.*, 2018)

Su versatilidad para adaptarse a diversos ecosistemas acuáticos ha desencadenado impactos adversos, incluida la reducción del oxígeno, la disminución de la biodiversidad y la alteración de la flora y fauna acuáticas. (Monroy *et al.*, 2022)



Figura 6. Represa y embalse Poza Honda, ubicado en Manabí, Ecuador. Fuente: (A) EPA EP (2020), (B) elaboración propia.

A partir de esta experiencia, se determinó que *E. crassipes*, una planta acuática flotante, presentaba un crecimiento incontrolado, afectando el suministro de agua potable a varias ciudades y la irrigación de extensas áreas de cultivo. Dicha proliferación amenazó la calidad del agua, la pesca, la

irrigación de tierras de cultivo, la navegación y la economía local en el embalse Poza Honda.

La gestión del lechuguín se volvió esencial para mantener la funcionalidad del embalse, asegurando el suministro de agua y preservando los ecosistemas acuáticos.

La experiencia pasada, aunque logró mitigar problemas temporales, evidenció la necesidad de una estrategia más integral y sostenible para abordar la proliferación continua de lechuguines en el embalse de Poza Honda.

La tabla 4 describe las problemáticas socioambientales identificadas en el caso de estudio del embalse Poza Honda en Santa Ana, Ecuador. Este embalse, vital para el suministro de agua y otros recursos locales, enfrenta una serie de desafíos que afectan tanto al medio ambiente como a las comunidades circundantes.

La tabla ofrece una visión general de estas problemáticas, que van desde la invasión de especies acuáticas hasta cuestiones relacionadas con la calidad del agua, la biodiversidad y los impactos sociales.

A través del análisis detallado de estas problemáticas, se busca comprender mejor los desafíos específicos que enfrenta el embalse Poza Honda y

proporcionar información relevante para el desarrollo de estrategias de gestión sostenible que aborden estas

preocupaciones socioambientales de manera efectiva.

Tabla 4. Problemáticas socioambientales levantadas en el embalse Poza Honda, Santa Ana, Ecuador.

	Deterioro de la calidad del agua potable
Social	Aislamiento de los pobladores establecidos en el margen izquierdo del embalse (en dirección aguas abajo)
	Largas horas de viaje en transporte por vía fluvial (el medio más valioso para estas comunidades) debido al cubrimiento del espejo de agua con lechuguines
	Dificultad para llegar a lugares de trabajo y estudio y para recibir servicios médicos oportunos.
	Posibles conflictos entre moradores de la parte alta y la parte bajan del embalse por la remoción de los lechuguines aguas abajo
	Epidemias por la proliferación de insectos y posibles mordeduras de culebras que habitan en los lechuguines acumulados en las orillas del embalse
Económico	Disminución de afluencia turística por malos olores en los badenes
	Aumento en el costo de transporte fluvial debido al mayor uso de combustible
	Alto costo de manejo de malezas acuáticas, se alquila maquinarias para remolcar los lechuguines de las zonas turísticas y no se realiza una solución integral
	Daños en motores de las lanchas
Ecológico	Pérdida de calidad visual de la zona
	Contaminación del agua y el aire debido a la putrefacción de los lechuguines acumulados en las orillas del embalse
	Malos olores
	Muerte de peces por anoxia

Gestión de proyectos para el control de *Eichhornia crassipes* en Manabí, Ecuador

En Ecuador, la incidencia de contaminación por malezas acuáticas en embalses sigue patrones similares a nivel global, siendo la región costera del país la más afectada. La provincia de Manabí, donde se encuentra el embalse Poza Honda, no escapa a esta problemática, con la presencia persistente del Jacinto de Agua y otras especies, generando consecuencias socioeconómicas y ambientales significativas. (CISPDR, 2016)

La gestión socioambiental de esta problemática se vuelve crucial para

garantizar la sostenibilidad de los embalses y mitigar los impactos negativos en la población dependiente de estos recursos. El embalse de Poza Honda, representa un caso emblemático en el que la implementación de estrategias efectivas de control y políticas públicas bien definidas se convierte en una necesidad imperativa.

La intervención humana en el área de influencia del embalse, caracterizada por pastizales, cultivos y rastróales, ha resultado en la pérdida de hábitats cruciales para la fauna local, llevando a una baja riqueza de especies y la

extinción local de su fauna. (Mera Párraga & Silva Ruiz, 2012)

A pesar de los esfuerzos de la institución SENAGUA para controlar el lechugun, la sostenibilidad de estas acciones no es aún evidente. La proliferación de la planta se atribuye principalmente al suministro de nutrientes producto de actividades agrícolas y la falta de enemigos naturales (SENAGUA, 2016). Además, se ha observado un incumplimiento de la legislación ambiental, permitiendo prácticas agrícolas y ganaderas en el embalse, que debería ser una zona de protección permanente.

La participación de los gobiernos locales en la gestión de este problema es débil debido a vulnerabilidades institucionales y deficiencias en la gestión municipal y el mecanismo de asociatividad.

La situación destaca la necesidad urgente de acciones sostenibles y coordinadas para abordar los impactos socioeconómicos y ambientales derivados de la invasión de *E. crassipes* en el embalse Poza Honda. Hasta el momento, se ha destacado el método de vertedero como el más óptimo para la remoción de *E. crassipes* en términos de volumen y costo, siempre que se implementen medidas adecuadas para la gestión de la maleza removida (Mera & Silva, 2012), entre ellas puede ser su reutilización para la fitorremediación

ex situ, así como también para alternativas de utilización, entre las que se incluye biogás (Guevara *et al.*, 2015; Ilo *et al.*, 2020). Sin embargo, a partir de esta revisión, se puede plantear al control químico y biológico como alternativas efectivas a largo plazo para el control y erradicación de la *E. crassipes* en el embalse de Poza Honda, dado los casos de éxito registrados en la literatura. (Karouach *et al.*, 2022; Preston *et al.*, 2018; Zarkami *et al.*, 2021)

Evidentemente, es necesario seguir investigando y revisando las causas fundamentales de la problemática actual, y así incidir en la política pública local para detener o minimizar el uso irracional de sustancias xenobióticas como agroquímicos, agrotóxicos, fertilizantes, etc., tal como establecen las normativas correspondientes.

Usos de las biomasas de macrófitos acuáticas.

Las macrófitas acuáticas, plantas que prosperan en ambientes acuáticos como lagos, ríos y estanques, representan una valiosa fuente de biomasa con múltiples aplicaciones potenciales.

En la tabla 5 se resumen algunos de los principales usos de las macrófitas acuáticas, destacando su utilidad en la producción de biocombustibles y abono orgánico, así como explorando

otros posibles usos como la purificación de aguas residuales. Cada uso se respalda con referencias de

artículos científicos que proporcionan evidencia de su viabilidad y potencial.

Tabla 5. Resumen de usos potenciales de las biomásas de las macrófitas.

Uso de las Macrófitas Acuáticas	Descripción	Referencias
Biocombustibles	Las macrófitas acuáticas pueden ser utilizadas como materia prima para la producción de biocombustibles, como el biodiésel o el biogás, a través de procesos de fermentación y destilación.	(Kamigawara <i>et al.</i> , 2020; Monroy <i>et al.</i> , 2022)
Producción de Abono Orgánico	Las macrófitas acuáticas pueden ser compostadas junto con otros materiales orgánicos para producir abono orgánico rico en nutrientes, que puede ser utilizado en agricultura y jardinería para mejorar la calidad del suelo y promover el crecimiento de las plantas.	(Dissanayaka <i>et al.</i> , 2023)
Otros Usos Potenciales	Purificación de aguas residuales y la producción de productos químicos naturales.	(C. Ibáñez <i>et al.</i> , 2023; I. Ibáñez <i>et al.</i> , 2021)

Esta tabla proporciona una visión general de las diversas formas en que las macrófitas acuáticas pueden ser

aprovechadas de manera sostenible para beneficio humano y ambiental.

CONCLUSIONES

Las represas y embalses en Ecuador y Latinoamérica han sido motores del desarrollo económico, proporcionando energía hidroeléctrica y recursos hídricos para la agricultura y la industria. Sin embargo, este desarrollo ha venido acompañado de una serie de impactos socioambientales negativos,

incluyendo el desplazamiento de comunidades, la pérdida de biodiversidad y la fragmentación de ecosistemas.

Aunque estas infraestructuras han mejorado el acceso al agua para las poblaciones locales, también han generado conflictos sociales y culturales, así como costos

económicos significativos. Para garantizar una gestión sostenible de estos recursos, es crucial adoptar enfoques integrados y proactivos que aborden tanto los aspectos sociales y culturales como los económicos y ambientales. Esto incluye el desarrollo e implementación de estrategias efectivas para el control de especies invasoras, así como la promoción de la participación ciudadana y la planificación cuidadosa de proyectos para garantizar su operación óptima y minimizar los impactos negativos en el medio ambiente y las comunidades circundantes.

Además, es importante promover la cooperación y colaboración entre diferentes actores, incluidas las autoridades gubernamentales, las instituciones de investigación, las organizaciones no gubernamentales y las comunidades locales, para desarrollar e implementar estrategias integrales y coordinadas que aborden este desafío de manera efectiva y sostenible.

En resumen, la planificación y gestión adecuadas de proyectos son esenciales para garantizar la operación correcta de los embalses, mientras que la implementación de estrategias eficaces para el control de especies invasoras es crucial para proteger la salud de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades que dependen de ellos.

Para lograr una gestión socioambiental efectiva en las operaciones de embalses, es fundamental adoptar un enfoque de mejora continua que integre las lecciones aprendidas y las mejores prácticas identificadas. Esto implica fortalecer la colaboración entre los diferentes actores involucrados, incluidas las comunidades locales, las autoridades gubernamentales, las instituciones de investigación y las organizaciones no gubernamentales, para desarrollar e implementar estrategias más efectivas y sostenibles. Asimismo, es necesario promover la transparencia y la participación ciudadana en el proceso de toma de decisiones, así como fortalecer los mecanismos de monitoreo y evaluación para garantizar la rendición de cuentas y la efectividad de las medidas implementadas.

En cuanto a las investigaciones futuras, es fundamental avanzar en el entendimiento de los impactos socioambientales de las operaciones de embalses, así como en el desarrollo de enfoques innovadores y soluciones tecnológicas para mitigar estos impactos. Esto incluye investigaciones sobre técnicas de control de especies invasoras más efectivas y sostenibles, así como estudios sobre los efectos del cambio climático en la gestión de embalses y la biodiversidad acuática.

Investigar sobre modelos de gobernanza y participación comunitaria que promuevan la equidad y la justicia social en la gestión de recursos hídricos también es acertado, así como sobre estrategias de restauración de ecosistemas para recuperar la salud de los embalses afectados por impactos ambientales negativos.

Finalmente, el camino hacia una gestión socioambiental más efectiva en las operaciones de embalses

requiere un compromiso continuo con la mejora continua y la innovación, así como con la colaboración y el intercambio de conocimientos entre diferentes actores y disciplinas. Al invertir en investigaciones futuras que aborden estos desafíos y oportunidades, podemos avanzar hacia un manejo más sostenible y equitativo de estos importantes recursos hídricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abelando, M. I. (2021). Control del agua de lastre como fuente de ingreso de especies exóticas invasoras en puertos argentinos de la Cuenca del Plata. *INNOTEC*, 22. <https://doi.org/10.26461/22.09>

Aber, A., Ferrari, G., Porcile, J. F., Rodríguez, E., & Zerbino, S. (2012). *Identificación de prioridades para la gestión nacional de las especies exóticas invasoras*. UNESCO.

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2022). *Atlas del sector eléctrico ecuatoriano*.

Aguirre, W. E., Alvarez-Mieles, G., Anaguano-Yancha, F., Burgos Morán, R., Cucalón, R. V., Escobar-Camacho, D., Jácome-Negrete, I., Jiménez Prado, P., Laaz, E., Miranda-Troya, K., Navarrete-Amaya, R., Nugra Salazar, F., Revelo, W., Rivadeneira, J. F., Valdiviezo Rivera, J., & Zárate Hugo, E. (2021). Conservation threats and future prospects for the

freshwater fishes of Ecuador: A hotspot of Neotropical fish diversity. In *Journal of Fish Biology* (Vol. 99, Issue 4, pp. 1158-1189). John Wiley and Sons Inc.

<https://doi.org/10.1111/jfb.14844>

Ahmed, D. A., Haubrock, P. J., Cuthbert, R. N., Bang, A., Soto, I., Balzani, P., Tarkan, A. S., Macêdo, R. L., Carneiro, L., Bodey, T. W., Oficialdegui, F. J., Courtois, P., Kourantidou, M., Angulo, E., Heringer, G., Renault, D., Turbelin, A. J., Hudgins, E. J., Liu, C., ... Courchamp, F. (2023). Recent advances in availability and synthesis of the economic costs of biological invasions. *BioScience*, 73(8), 560-574. <https://doi.org/10.1093/biosci/biad060>

Araujo, G. E., Lucana, R., & Ordoñez, K. M. (2019). *Eficiencia del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la quebrada Charhuayacu en el sector Shango, Moyobamba 2019*. Universidad César Vallejo.

- Ayanda, O. I., Ajayi, T., & Asuwaju, F. P. (2020). *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms: Uses, Challenges, Threats, and Prospects. In *Scientific World Journal* (Vol. 2020). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2020/3452172>
- Badr, A., Li, Z., & El-Dakhakhni, W. (2023). Dam System and Reservoir Operational Safety: A Meta-Research. In *Water (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 19). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/w15193427>
- Brazeiro, A. (2018). *Recientes avances en investigación para la gestión y conservación del bosque nativo de Uruguay* (I).
- Britton, J. R., Lynch, A. J., Bardal, H., Bradbeer, S. J., Coetzee, J. A., Coughlan, N. E., Dalu, T., Tricarico, E., Gallardo, B., Lintermans, M., Lucy, F., Liu, C., Olden, J. D., Raghavan, R., & Pritchard, E. G. (2023). Preventing and controlling nonnative species invasions to bend the curve of global freshwater biodiversity loss. *Environmental Reviews*, 31(2), 310-326. <https://doi.org/10.1139/er-2022-0103>
- Buchadas, A., Vaz, A. S., Honrado, J. P., Alagador, D., Bastos, R., Cabral, J. A., Santos, M., & Vicente, J. R. (2017). Dynamic models in research and management of biological invasions. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 196, pp. 594-606). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.060>
- Celi, J. E., & Villamarín, F. (2020). Freshwater ecosystems of mainland Ecuador: Diversity, issues and perspectives. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32, 1-8. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X3220>
- Chukwuka, A. V., & Adeogun, A. O. (2023). Oxbow lakes in Africa: Status, threats, and management strategies- A review. In *Environmental Challenges* (Vol. 13). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100759>
- CISPDR. (2016). *PLAN HIDRÁULICO REGIONAL DE DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA MANABÍ*.
- Coetzee, J. A., & Hill, M. P. (2020). *Salvinia molesta* D. Mitch. (Salviniaceae): Impact and control. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 15(33). <https://doi.org/10.1079/PAVSN.NR202015033>
- Cuthbert, R. N., Pattison, Z., Taylor, N. G., Verbrugge, L., Diagne, C., Ahmed, D. A., Leroy, B., Angulo, E., Briski, E., Capinha, C., Catford, J. A., Dalu, T., Essl, F., Gozlan, R. E., Haubrock, P. J., Kourantidou, M., Kramer, A. M., Renault, D., Wasserman, R. J., & Courchamp, F. (2021). Global economic costs of aquatic invasive alien species. *Science of the Total Environment*, 775. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145238>



- de Sousa Lopes, M., & Brito, D. M. C. (2021). Socioenvironmental impacts of dams in the Jari Valley, Amapá, Brazil: community perceptions. *Ambiente e Sociedade*, 24. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190068r3vu2021L2AO>
- Dechassa, N., & Abate, B. (2020). Current Status of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Ethiopia: Achievements, Challenges and Prospects: A Review. *Journal of Environment and Earth Science*. <https://doi.org/10.7176/jees/10-12-03>
- Dissanayaka, D. M. N. S., Udumann, S. S., Dissanayake, D. K. R. P. L., Nuwarapaksha, T. D., & Atapattu, A. J. (2023). Review on Aquatic Weeds as Potential Source for Compost Production to Meet Sustainable Plant Nutrient Management Needs. *Waste*, 1(1), 264-280. <https://doi.org/10.3390/waste1010017>
- Edgerton, E., Wang, H. H., Grant, W. E., & Masser, M. (2022). Aquatic Plant Invasion and Management in Riverine Reservoirs: Proactive Management via a Priori Simulation of Management Alternatives. *Diversity*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/d14121113>
- Escamilla-García, P. E., Fernández-Rodríguez, E., Jiménez-Castañeda, M. E., Jiménez-González, C. O., & Morales-Castro, J. A. (2023). A Review of the Progress and Potential of Energy Generation from Renewable Sources in Latin America. *Latin American Research Review*, 16(12), 1-20. <https://doi.org/10.1017/lar.2023.15>
- Estrada Fernández, A. (2023). *Análisis de la vegetación en orillas restauradas del río Nalón con especial interés en especies exóticas invasoras*.
- Gallardo, B., Clavero, M., Sánchez, M. I., & Vilà, M. (2016). Global ecological impacts of invasive species in aquatic ecosystems. In *Global Change Biology* (Vol. 22, Issue 1, pp. 151-163). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/gcb.13004>
- García-Díaz, P., Cassey, P., Norbury, G., Lambin, X., Montti, L., Pizarro, J. C., Powell, P. A., Burslem, D. F. R. P., Cava, M., Damasceno, G., Fasola, L., Fidelis, A., Huerta, M. F., Langdon, B., Linardaki, E., Moyano, J., Núñez, M. A., Pauchard, A., Phimister, E., ... Tomasevic, J. A. (2021). Management Policies for Invasive Alien Species: Addressing the Impacts Rather than the Species. *BioScience*, 71(2), 174-185. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa139>
- García-Díaz, P., Montti, L., Powell, P. A., Phimister, E., Pizarro, J. C., Fasola, L., Langdon, B., Pauchard, A., Raffo, E., Bastías, J., Damasceno, G., Fidelis, A., Huerta, M. F., Linardaki, E., Moyano, J., Núñez, M. A., Ortiz, M. I., Rodríguez-Jorquera, I., Roesler, I., ... Lambin, X. (2022). Identifying Priorities, Targets, and Actions for the Long-term Social and Ecological Management of Invasive Non-Native Species. *Environmental Management*, 69(1), 140-153.

- <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01541-3>
- Geist, J., & Hawkins, S. J. (2016). Habitat recovery and restoration in aquatic ecosystems: current progress and future challenges. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26(5), 942-962. <https://doi.org/10.1002/aqc.2702>
- Giovanny, R., Malaver, V., Drn, T., Eduard, J., & Rojas, R. (2020). *Plan de Prevención, Manejo y Control del buchón de agua (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.
- González-Salazar, M., & Roger Pogonietz, W. (2022). Making use of the complementarity of hydropower and variable renewable energy in Latin America: A probabilistic analysis. In *Energy Strategy Reviews* (Vol. 44). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100972>
- Guevara Granja, M. F., Ramírez, C., & Lenin, J. (2015). Eichhornia crassipes, SU INVASIVIDAD Y POTENCIAL FITORREMIADOR. *LA GRANJA*, 22(2), 5-11. <https://doi.org/10.17163/lgr.n2.2015.01>
- Hanley, N., & Roberts, M. (2019). The economic benefits of invasive species management. *People and Nature*, 1(2), 124-137. <https://doi.org/10.1002/pan3.31>
- Hussner, A., Stiers, I., Verhofstad, M. J. J. M., Bakker, E. S., Grutters, B. M. C., Haury, J., van Valkenburg, J. L. C. H., Brundu, G., Newman, J., Clayton, J. S., Anderson, L. W. J., & Hofstra, D. (2017). Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: A review. In *Aquatic Botany* (Vol. 136, pp. 112-137). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.aqua.bot.2016.08.002>
- Hutchins, R. A., van Swol, L. M., Campbell, T., & Shaw, B. R. (2023). Applying the Extended Parallel Process Model to aquatic invasive species prevention behaviors in wading anglers. *Management of Biological Invasions*, 14(3), 519-540. <https://doi.org/10.3391/mbi.2023.14.3.10>
- Ibáñez, C., Caiola, N., Barquín, J., Belmar, O., Benito-Granell, X., Casals, F., Fennessy, S., Hughes, J., Palmer, M., Peñuelas, J., Romero, E., Sardans, J., & Williams, M. (2023). Ecosystem-level effects of re-oligotrophication and N:P imbalances in rivers and estuaries on a global scale. *Global Change Biology*, 29(5), 1248-1266. <https://doi.org/10.1111/gcb.16520>
- Ibáñez, I., Liu, G., Petri, L., Schaffer-Morrison, S., & Schueller, S. (2021). Assessing vulnerability and resistance to plant invasions: A native community perspective. In *Invasive Plant Science and Management* (Vol. 14, Issue 2, pp. 64-74). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/inp.2021.15>
- Ilo, O. P., Simatele, M. D., Nkomo, S. L., Mkhize, N. M., & Prabhu, N.

- G. (2020). The benefits of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for Southern Africa: A review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 21, pp. 1-20). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/su12219222>
- International Energy Agency. (2021). *Climate Impacts on Latin American Hydropower*. IEA Publications.
- Kamigawara, K., Nakai, K., Noma, N., Hieda, S., Sarat, E., Dutartre, A., Renals, T., Bullock, R., Haury, J., Bottner, B., & Damien, J. P. (2020). What kind of legislation can contribute to on-site management?: Comparative case studies on legislative developments in managing aquatic invasive alien plants in France, England, and Japan. *Journal of International Wildlife Law and Policy*, 83-108.
<https://doi.org/10.1080/13880292.2020.1788778>
- Karouach, F., Ben Bakrim, W., Ezzariai, A., Sobeh, M., Kibret, M., Yasri, A., Hafidi, M., & Kouisni, L. (2022). A Comprehensive Evaluation of the Existing Approaches for Controlling and Managing the Proliferation of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*): Review. In *Frontiers in Environmental Science* (Vol. 9). Frontiers Media S.A.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.767871>
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento Del Agua, Registro Oficial Suplemento N° 305 43 (2014).
- Linares, M. S., Macedo, D. R., Massara, R. L., & Callisto, M. (2020). Why are they here? Local variables explain the distribution of invasive mollusk species in neotropical hydropower reservoirs. *Ecological Indicators*, 117.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106674>
- Lozano, V., & Brundu, G. (2018). Prioritisation of aquatic invasive alien plants in South America with the US Aquatic Weed Risk Assessment. *Hydrobiologia*, 812(1), 115-130.
<https://doi.org/10.1007/s10750-016-2858-8>
- MAATE. (2013). *Evaluación de necesidades tecnológicas para el manejo de la oferta hídrica en cantidad y calidad*.
- Mera Párraga, M. J., & Silva Ruiz, J. (2012). *Propuesta Para El Control Y Manejo De Eichhornia Crassipes (Lechuguin) En El Embalse Poza Honda Provincia De Manabi*. Universidad de Guayaquil.
- Middleton, B. A. (2019). Invasive Plant Species. In *Encyclopedia of Ecology: Volume 1-4, Second Edition* (Vol. 1, pp. 431-440). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11175-3>
- Mirassou, S., & Bertranou, A. (2009). La Gestión Integral de los Recursos Hídricos: Aportes a un desarrollo conceptual para la gobernabilidad del agua. *FLACSO Sede Académica Argentina*, 256.
- Monroy, A., Martínez Z, J. J., & Caicedo Pineda, G. A. (2022). Estrategias de aprovechamiento del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) hacia la producción de bioetanol. *Ciencia En Desarrollo*,



13(2), 185-200.
<https://doi.org/10.19053/01217488.v13.n2.2022.14088>

Motitsoe, S. N., Coetzee, J. A., Hill, J. M., & Hill, M. P. (2020). Biological control of *Salvinia molesta* (D.S. Mitchell) drives aquatic ecosystem recovery. *Diversity*, 12(5).
<https://doi.org/10.3390/D12050204>

Naranjo-Silva, S., Punina-Guerrero, D., Barros-Enriquez, J., Almeida-Dominguez, J., & Alvarez del Castillo, J. (2023). Hydropower Development in Three South American Countries: Brazil, Colombia, and Ecuador. *Iranian Journal of Energy and Environment*, 14(2), 102-110.
<https://doi.org/10.5829/ijee.2023.14.02.02>

Ollero Ojeda, A. (2017). Restauración ambiental, social y territorial frente a los impactos generados por los embalses. *Geographicalia*, 32, 139.
https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.1995321727

Preston, I. R., Le Maitre, D. C., Bignaut, J. N., Louw, L., & Palmer, C. G. (2018). Impact of invasive alien plants on water provision in selected catchments. *Water SA*, 44(4), 719-729.
<https://doi.org/10.4314/wsa.v44i4.20>

Prieto, R. O., González-Oliva, L., Regalado, L., Castañeira, M. A., & Puebla, B. (2012). Protocolo para la detección y manejo de plantas invasoras en áreas naturales o seminaturales de Cuba. *Bissea*, 6(Ne 1), 97-112.

Reglamento Ley Recursos Hídricos Usos Y Aprovechamiento Del Agua, Decreto Ejecutivo 650 1 (2015).

Rico-Sánchez, A. E., Haubrock, P. J., Cuthbert, R. N., Angulo, E., Ballesteros-Mejia, L., Lopez-Lopez, E., Duboscq-Carra, V. G., Nunez, M. A., Diagne, C., & Courchamp, F. (2021). Economic costs of invasive alien species in Mexico. *NeoBiota*, 67, 459-483.
<https://doi.org/10.3897/neobiota.67.63846>

Robichaud, C. D., Rooney, R. C., Larson, B. M. H., Wolfe, S. E., Nyssa, Z., Kowalski, K. P., & Braun, H. (2023). A decision framework for the management of established biological invasions. *Facets*, 8, 1-10.
<https://doi.org/10.1139/facets-2022-0200>

Sanabria Martínez, L. F., Villamil Malaver, R. G., Rojas Rojas, J. E., Talero, C. A., & Gaona R., O. J. (2022). *Plan de Prevención, Control y Manejo de la especie Azolla filiculoides L (Helecho de agua) en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.*

SENAGUA. (2016). Estrategia Nacional de Calidad del Agua. *Ministerio de Ambiente, Ecuador*, 1-97.

Shackleton, R. T., Adriaens, T., Brundu, G., Dehnen-Schmutz, K., Estévez, R. A., Fried, J., Larson, B. M. H., Liu, S., Marchante, E., Marchante, H., Moshobane, M. C., Novoa, A., Reed, M., & Richardson, D. M. (2019). Stakeholder engagement in the study and management of invasive alien species. *Journal of Environmental Management*,

- 229, 88-101.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.044>
- Shackleton, R. T., Shackleton, C. M., & Kull, C. A. (2019). The role of invasive alien species in shaping local livelihoods and human well-being: A review. *Journal of Environmental Management*, 229, 145-157.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.007>
- Shen, J., He, P., Sun, X., Shen, Z., & Xu, R. (2023). Impact Eichhornia crassipes Cultivation on Water Quality in the Caohai Region of Dianchi Lake Using Multi-Temporal Sentinel-2 Images. *Remote Sensing*, 15(9).
<https://doi.org/10.3390/rs15092260>
- Simberloff, D. (2021). Maintenance management and eradication of established aquatic invaders. In *Hydrobiologia* (Vol. 848, Issue 9, pp. 2399-2420). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.
<https://doi.org/10.1007/s10750-020-04352-5>
- Su, W., Sun, Q., Xia, M., Wen, Z., & Yao, Z. (2018). The resource utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* [Mart.] Solms) and its challenges. In *Resources* (Vol. 7, Issue 3). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/resources7030046>
- Thi Nguyen, T. H., Boets, P., Lock, K., Damanik Ambarita, M. N., Forio, M. A. E., Sasha, P., Dominguez-Granda, L. E., Thi Hoang, T. H., Everaert, G., & Goethals, P. L. M. (2015). Habitat suitability of the invasive water hyacinth and its relation to water quality and macroinvertebrate diversity in a tropical reservoir. *Limnologica*, 52, 67-74.
<https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.03.006>
- UICN. (2019). Guía para la planificación y gestión de especies invasoras en islas. In A. Tye (Ed.), *Guía para la planificación y gestión de especies invasoras en islas*. International Union for Conservation of Nature (IUCN).
<https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2018.15.es>
- UICN. (2023). *Categorías y Criterios de la EICAT de la UICN. Clasificación del impacto ambiental de taxones exóticos*. (Primera ed). UICN.
- Vermaat, J. E., Thiemer, K., Immerzeel, B., Schneider, S. C., Sebola, K., Coetzee, J., Petruzzella, A., Motitsoe, S. N., Baldo, M., Misteli, B., Thiébaud, G., Hilt, S., Köhler, J., & Harpenslager, S. F. (2023). Mass development of aquatic plants: Effects of contrasting management scenarios on a suite of ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.14539>
- Zarkami, R., Esfandi, J., & Sadeghi, R. (2021). Modelling Occurrence of Invasive Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Wetlands. *Wetlands*, 41(1).
<https://doi.org/10.1007/s13157-021-01405-w>