

Revisión de literatura sobre la evaluación de riesgos a la prestación del servicio
hidrológico de suministro de agua

Jessika Daniela Villamizar Pedraza

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Civil

Director:

Isabel Cristina Domínguez Rivera
PhD en Agricultura, Alimentos y Desarrollo rural

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas
Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

Agradecimientos

A Dios, por darme la sabiduría y fortaleza necesaria para enfrentar y superar los retos que se me presentan.

A mi madre y mi padre, Ana y Heriberto, por estar desde mis inicios apoyándome a ser cada día mejor persona y por ser la fuente de inspiración y motivación para alcanzar mis metas.

A mis hermanos por también ser fuente de apoyo.

A la universidad, por haberme dado la oportunidad de hacer parte de ella, y por brindarme las herramientas para ser una gran profesional.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Objetivos	12
1.1. Objetivo general.....	12
1.2. Objetivos específicos	12
2. Marco de referencia.....	12
3. Metodología	13
3.1. Recolección de información sobre evaluación de riesgos a la prestación del servicio hidrológico de suministro de agua	13
3.2. Organización de la información científica relacionada con el objeto en estudio	15
3.3. Análisis de los datos.....	16
4. Resultados y discusión	16
4.1. Resultado del estado actual de la investigación	16
4.2. Objetivos identificados en la revisión.....	17
4.3. Servicios ecosistémicos abordados	19
4.4. Metodologías propuestas para la evaluación de riesgos en servicios ecosistémicos	22
4.5. Descripción de pasos encontrados en las metodologías propuestas para la evaluación de riesgos en servicios ecosistémicos	24
5. Metodología propuesta.....	32
5.1. Pasos de la metodología.....	33

6. Conclusiones y recomendaciones	36
Referencias bibliográficas.....	38
Apéndices	42

Lista de Tablas

Tabla 1 Servicios ecosistémicos	21
Tabla 2 Pasos de las metodologías implementadas para la evaluación de riesgos asociados a plaguicidas o químicos	22
Tabla 3 Pasos de las metodologías implementadas para la evaluación de riesgos asociados a plagas o especies invasoras.....	23

Lista de Figuras

Figura 1 Esquema del proceso de filtrado.....	14
Figura 2 Publicaciones desde el año 2010 al 2021	16
Figura 3 Cantidad de artículos realizados por país/ territorio.....	17
Figura 4 Pasos de la metodología propuesta.....	35

Lista de Apéndices

Apéndice A Matriz de servicios de hábitat x ecosistema	42
--	----

Resumen

Título: Revisión de literatura sobre la evaluación de riesgos a la prestación del servicio hidrológico de suministro de agua *

Autor: Jessika Daniela Villamizar Pedraza **

Palabras Clave: Evaluación de riesgos ambientales (ERA), Servicio ecosistémico (SE), Servicio hidrológico de suministro de agua, revisión de literatura.

Los servicios ecosistémicos (SE) se definen como la estrecha relación entre el ambiente que nos rodea y el sostenimiento, nutrición y bienestar humano (Balvanera & Cotler, 2007)¹, estos servicios se han clasificado a partir de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)² en: i) aprovisionamiento, ii) regulación, iii) apoyo y iv) culturales; el servicio hidrológico de suministro de agua hace parte del grupo de servicios de aprovisionamiento que describe la modificación de los ecosistemas del agua utilizada para fines extractivos e in situ lo que representa una gran demanda para el consumo humano y los ecosistemas. En la última década se ha querido integrar la Evaluación de Riesgos Ambientales (ERA) a la prestación de servicios ecosistémicos con el fin de tener en cuenta la relación causa y efecto, para analizar la contaminación y/o deterioro de estos y poder encontrar así, soluciones que eliminen o controlen los riesgos. Este estudio tiene como objetivo proponer una metodología para evaluar riesgos a la prestación del servicio hidrológico de suministro de agua a través de una revisión de literatura. En la revisión se encontró que la investigación sobre los riesgos a la prestación de servicios ecosistémicos es escasa, la mayoría de las investigaciones se han hecho en Europa, resaltando marcos planteados por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) que se enfoca en dos categorías: químicos y plagas. Aunque no se encontraron aplicaciones específicas para ERAs del servicio hidrológico de suministro de agua, se propuso una metodología que tiene los siguientes pasos: i) Revisión de literatura, ii) Identificación de la unidad proveedora del servicio, iii) Identificación de las dimensiones, iv) Identificación de los factores de estrés/riesgos/peligros, v) Desarrollo de escenarios y supuestos. Este artículo puede servir para evaluar casos en donde se busque prevenir la reducción de oferta hídrica, contaminación de los recursos y también se incentive a la continua investigación sobre el tema e inversión para así mitigar los riesgos y garantizar la prestación de los servicios a largo plazo.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera. Ing. MSc. PhD

¹ Balvanera, P., & Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. (84-85).

² Mooney H, C. A. (2005). *Ecosystems and Humans Well-being*. Washintong, DC.

Abstract

Title: Literature review about risk assessment of hydrological services of water supply delivery*

Author: Jessika Daniela Villamizar Pedraza**

Key Words: Environmental risk assessment (ERA), Ecosystem services (SE), Hydrological water supply service, literature review.

Ecosystem services (ES) are defined as the close relationship between the environment and human sustainability, nutrition and well-being (Balvanera & Cotler, 2007)¹, these services have been classified based on the Millennium Ecosystem Assessment (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)², as follows: i) provisioning; ii) regulation, iii) support, and iv) cultural. The hydrological service of water supply is part of the group of provisioning services that describes the changes of the ecosystems related to the water used for extractive and in situ purposes, which represents a great demand for human consumption and ecosystems. In the last decade, efforts have been made to integrate environmental risk assessment (ERA) of ecosystem service delivery to consider cause and effect relationships, analyze the contamination and / or deterioration of these and thus, be able to find solutions that eliminate or control risks. This study aims to propose a methodology to assess risks to the delivery of the hydrological service of water supply through a literature review. The review found that research on ERAs to the delivery of ecosystem services is scarce, most of the research has been done in Europe, using frameworks proposed by the European Food Safety Authority (EFSA) that focuses on two categories: chemicals and pests. Although no specific applications were found for ERAs to the hydrological service of water supply, a methodology was proposed comprising the following steps: i) Literature review, ii) Identification of the service providing unit, iii) Identification of dimensions, iv) Identification of stressors / risks / hazards, v) Development of scenarios and assumptions. This article can be used to evaluate cases where people seek to prevent the reduction of water supply, contamination of resources and to encourage continuous research on the subject and investment in order to mitigate risks.

* Degree Work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera. Sanitary Engineer, MSc. PhD

¹ Balvanera, P., & Cotler, H. (2007). *Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos*. (84-85).

² Mooney H, C. A. (2005). *Ecosystems and Humans Well-being*. Washintong, DC.

Introducción

Desde tiempos atrás se han venido estudiando las transformaciones significativas y el agotamiento de los recursos naturales que resulta en la degradación de los ecosistemas debido a una serie de cambios producidos por el hombre, como consecuencia de resolver la demanda de alimentos, agua dulce, madera, fibra y combustible, pero que a su vez han beneficiado a la humanidad en el bienestar y desarrollo económico. La preocupación por estos cambios se ve reflejada en el interés de buscar soluciones proyectadas en el tiempo. Por ejemplo, los estados miembros de las Naciones Unidas, desde el año 2000 se comprometieron con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) (Organización de las Naciones Unidas, 2015) y 15 años después, con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Aunque se observan avances en la consecución de los ODS, paralelamente, se ha evidenciado un deterioro del medio ambiente y en general progresos lentos. La pandemia del Covid-19 interrumpió la implementación de muchos de los ODS y en algunos casos se generaron retrocesos luego de décadas de progreso en algunos ámbitos (Organización de las Naciones Unidas, 2020). No obstante, para la gestión del agua, la atención hacia la consecución de los ODS es crucial, pues contribuye a garantizar su disponibilidad y sostenibilidad; así como el saneamiento para todos, la adopción de medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos; la conservación y uso sostenible de los océanos, los mares y los recursos marinos.

Los servicios ecosistémicos se definen como la estrecha relación del ambiente que nos rodea y el sostenimiento, nutrición y bienestar humano, por otro lado los ODS están destinados a erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar la prosperidad para todos lo que implica que sea esencial gestionar los ecosistemas de manera que garanticen la protección de la naturaleza, un

suministro sostenible y el acceso equitativo a los servicios que aporta la naturaleza; en una investigación realizada por medio de encuestas entre expertos en SE se llegó a la conclusión que la provisión de alimentos y agua, el mantenimiento del hábitat y la biodiversidad contribuían al mayor número de ODS (Wood et al., 2018).

La investigación sobre servicios ecosistémicos incluye las Evaluaciones de Riesgos Ambientales (ERAs) para analizar por qué se llega a una contaminación o degradación de los ecosistemas, con la ayuda de estudios específicos, análisis de las propiedades e identificación de los factores peligrosos entre otras características que se deben tener en cuenta.

El servicio de suministro de agua es un servicio de aprovisionamiento que describe la modificación de los ecosistemas del agua utilizada para fines extractivos e in situ. Los usos extractivos del agua incluyen el uso de energía municipal, uso agrícola, comercial, industrial y termoeléctrica, los usos in situ incluyen la generación de energía hidroeléctrica, la recreación acuática y el transporte, así como producción de peces de agua dulce, entre otros (Brauman et al., 2007a); este servicio es de vital importancia por su aporte al desarrollo, salud y bienestar de los seres vivos.

Este trabajo de grado tiene como objetivo general proponer una metodología para evaluar riesgos a la prestación del servicio hidrológico de suministro de agua a través de una revisión sistemática de literatura. Los objetivos específicos son: i) Recolectar información relacionada con la evaluación de riesgos a la prestación del servicio hidrológico de suministro de agua por medio de una búsqueda sistemática de literatura; ii) Estructurar la información científica relacionada con el objeto en estudio, a través de una síntesis narrativa apoyada en tablas o gráficas.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Proponer una metodología para evaluar riesgos a la prestación del servicio hidrológico de suministro de agua a través de una revisión sistemática de literatura.

1.2. Objetivos específicos

Recolectar información relacionada con la evaluación de riesgos a la prestación del servicio hidrológico de suministro de agua por medio de una búsqueda sistemática de literatura.

Estructurar la información científica relacionada con el objeto en estudio, a través de una síntesis narrativa apoyada en tablas o gráficas.

2. Marco de referencia

Los servicios ecosistémicos vienen desde muchos años atrás, entendiéndose así como la estrecha relación del ambiente que nos rodea y el sostenimiento, nutrición y bienestar humano (Balvanera & Cotler, n.d.) reconociéndose como un tema muy importante a nivel mundial.

En el proceso cuando se prestan estos servicios, se puede llegar a contaminar más que el beneficio que se presta, por ejemplo, en aguas costeras el problema principal son los nutrientes que se emplean en la agricultura y que llegan al océano, nutrientes como el fósforo, presentes en los fertilizantes y abono para las plantas, se cuelean en los ríos y al llegar al mar provocan el crecimiento desmedido de algas que al morir y descomponerse absorben enormes cantidades de oxígeno así creando las zonas muertas, zonas con falta de oxígeno en donde se puede provocar la extinción masiva de especies en el largo plazo. Para el año 2005 según el informe de la Evaluación

de Ecosistemas del Milenio, la cantidad de agua en los embalses era mayor que la de ríos naturales, la toma de agua desde ríos y lagos había aumentado, el 70% del agua se destinaba a la agricultura, del 5 al 25% del uso de agua dulce mundial sobrepasaba los suministros accesibles a largo plazo. Alrededor del 15 al 35% del agua utilizada para riego excedía las tasas de suministro y por lo tanto el consumo era insostenible. También para el año 2005 los estudios demostraban que la mitad de la población urbana de África, Asia, América Latina y el Caribe sufría uno o más enfermedades relacionadas con la insuficiencia del suministro de agua y del saneamiento. El aumento del uso de unos servicios muchas veces provoca la degradación de otros, como el querer producir alimentos, esto supone un aumento en el uso del agua y de fertilizantes o el aumento de la superficie cultivada (Millennium Ecosystem Assessment Panel, 2005).

También preocupa el hecho que los servicios generados por el capital natural no son adecuadamente cuantificados en comparación con aquellos servicios obtenidos del capital producido por el hombre (Groot, 2007), se le da más importancia al beneficio que se obtiene de la materia prima sin cuantificar el daño que se ocasiona para llegar a ese resultado.

3. Metodología

3.1. Recolección de información sobre evaluación de riesgos a la prestación del servicio hidrológico de suministro de agua

La búsqueda de información se realizó a través de la base de datos, Scopus, usando ecuaciones de búsqueda que permitieron crear unos filtros en las bases de datos. Las ecuaciones que se tuvieron en cuenta para búsqueda en título, resumen y/o palabras claves fueron las siguientes: ("Environmental risk assessment" AND "Ecosystem services" AND "Water supply"),

("Environmental risk assessment" AND "Ecosystem services" AND "water provision"), ("Environmental risk assessment" AND "Ecosystem services" AND "hydrological service"). Sin embargo, no se obtuvieron artículos relacionados con esas ecuaciones, razón por la cual se utilizó la ecuación: "Environmental risk assessment" AND "Ecosystem services" y se obtuvieron 64 artículos. También se consideró información publicada por instituciones tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Evaluación de Ecosistemas del Milenio, Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), entre otras.

Como segundo filtro, para excluir artículos y publicaciones que no fueran relevantes al tema de interés, se tuvo en cuenta lo siguiente:

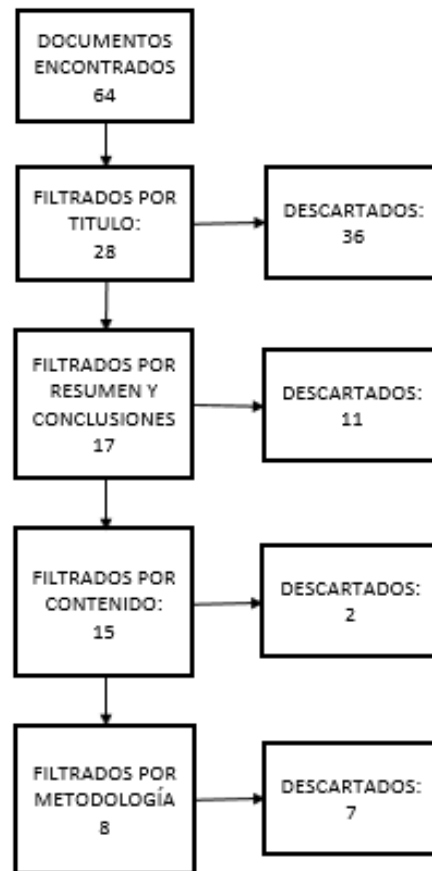
- El título del artículo debía tener relación con el tema
- Se hizo la lectura del resumen y conclusiones de los documentos seleccionados para verificar si la información era relevante para el proyecto de investigación
- Por último, se procedió a leer el artículo en su totalidad.

De los 64 documentos, se descartan 36 por el título, 11 por el resumen y conclusiones, 2 por el contenido del artículo y 7 por la metodología. En la "Figura 1" se puede observar un esquema del proceso de filtrado.

Muy pocos de los artículos encontrados tenían un enfoque relacionado específicamente con el servicio hidrológico de suministro de agua, pero se consideraron porque contenían metodologías que podrían ser adaptadas a la evaluación de riesgos a la prestación de este servicio.

Figura 1

Esquema del proceso de filtrado



3.2. Organización de la información científica relacionada con el objeto en estudio

Los 15 artículos que se obtuvieron al filtrar por el contenido, se guardaron en carpetas y la información bibliográfica se exportó al administrador de referencias, Mendeley; se revisaron más a profundidad y se descartaron 7 más porque en esos artículos no se encontraron metodologías que evaluaran los riesgos ambientales; la información de los 8 artículos se tabuló, en el software Excel, clasificándolos por: 1) título, 2) autor, 3) año de publicación, 4) país/ ciudad/ territorio y 5) detalles de la metodología, para empezar el análisis. Se realizó la lectura completa de los documentos y se destacó información relevante que se organizó en fichas creadas en el software Word, así, se resaltó el marco conceptual que empleaban, términos importantes, objetivos, qué servicios ecosistémicos

trabajaban, la metodología empleada, pasos de la metodología y por último los resultados de esas metodologías.

Con esta información se tabularon en el software Excel detalles de las metodologías.

3.3. Análisis de los datos

Se procedió hacer un análisis cualitativo, con ayuda de las fichas anteriormente mencionadas y los artículos relacionados con ERAs a servicios ecosistémicos. Este análisis se realizó teniendo en cuenta la evolución de los artículos publicados entre el año 2010 – 2021, se consideraron diferentes tipos de evaluaciones como: evaluaciones de riesgos ambientales enfocadas en plaguicidas, plagas y químicos. Para el análisis de los resultados obtenidos en la revisión, se utilizaron gráficas de barras. Por último, teniendo las fichas se procedió a plantear una metodología que se enfocara en evaluar riesgos a la prestación del servicio hidrológico de suministro de agua, en donde se resaltan pasos, ideas y recomendaciones de los artículos.

4. Resultados y discusión

4.1. Resultado del estado actual de la investigación

El interés en la evaluación de riesgos ambientales, enfocados en la prestación de servicios ecosistémicos es escasa y abarca una variedad de servicios ecosistémicos. La Figura 2 muestra que se ha mantenido una cantidad casi constante entre 1 y 2 artículos por año entre los años 2010 y 2014, luego un descenso a cero entre los años 2015 y 2016, en el año 2017, 4 artículos y desde el año 2018 al 2021 se obtiene una variación entre 1 y 2.

Figura 2

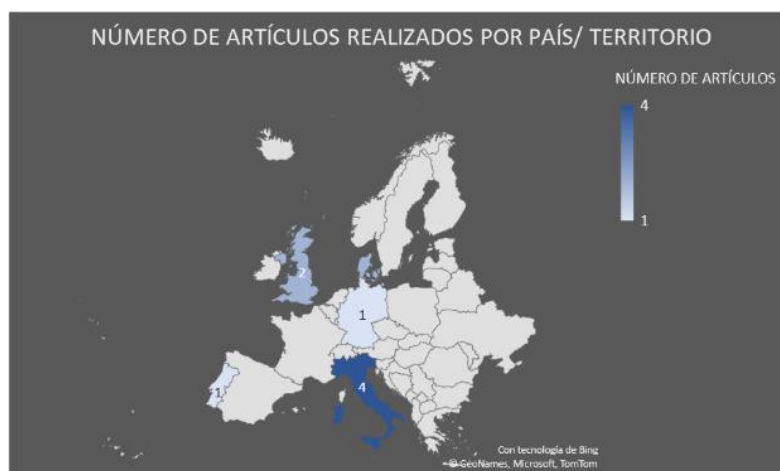
Publicaciones desde el año 2010 al 2021



La totalidad de los artículos encontrados corresponden a países de Europa. En la Figura 3 se puede observar la cantidad de artículos por país/ territorio, en donde se destaca que en Italia se han llevado a cabo la mayoría de las investigaciones encontradas.

Figura 3

Cantidad de artículos realizados por país/ territorio



4.2. Objetivos identificados en la revisión

Las metodologías encontradas abarcan objetivos como: i) la implementación de objetivos de protección específicos como medida para la evaluación del riesgo ambiental de los plaguicidas e identificación de las entidades ambientales específicas que necesitan ser protegidas(EFSA Panel

on Plant Protection Products and their Residues (PPR), 2010); ii) la identificación de opciones de reducción de riesgos ocasionados por el impacto de una plaga en el medio ambiente, comprendiendo las consecuencias de la invasión en términos de la modificación de los rasgos funcionales que son componentes de las unidades proveedoras del servicio (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a); iii) el diseño de métodos con un enfoque estandarizado para la evaluación de riesgos ambientales (ERA) como componente del análisis de riesgo de plagas (Gilioli et al., 2014); iv) la evaluación del impacto de la biomasa de caracoles sobre los rasgos y riesgo para los servicios ecosistémicos y componentes de la biodiversidad (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2014); v) la estimación del impacto potencial de las poblaciones de caracoles manzana en un grupo seleccionado de servicios ecosistémicos proporcionados por ecosistemas de agua dulce (Gilioli et al., 2017); vi) la evaluación a la exposición a una gama de productos químicos en el ambiente (Maltby et al., 2017); vii) la evaluación de los impactos de múltiples factores estresantes en los servicios ecosistémicos en áreas costeras (Syberg et al., 2017) y viii) la evaluación de riesgos ambientales del Zinc disuelto en una laguna contaminada en un sitio industrial (Brown et al., 2021).

Los objetivos de los estudios pueden agruparse en 2 categorías: i) evaluación de riesgos ambientales e identificación de pérdidas a la prestación de servicios ambientales asociados a la exposición a productos químicos en el ambiente y ecosistemas costeros que proporcionan importantes servicios que apoyan a la producción de alimentos y otras materias primas ((EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), 2010), (Maltby et al., 2017), (Syberg et al., 2017), (Brown et al., 2021)) y ii) evaluación de riesgos ambientales asociados a la presencia de plagas (ejemplo, el escarabajo de cuerno largo invasor de cítricos y caracol manzana) en ecosistemas acuáticos ((EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a), (Gilioli et al., 2014), (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2014), (Gilioli et al., 2017)).

4.3. Servicios ecosistémicos abordados

Los servicios ecosistémicos fueron definidos por la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EM) como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas y que incluyen servicios de aprovisionamiento como alimentos y agua; servicios de regulación como la regulación de inundaciones, sequías, degradación de la tierra y enfermedades; servicios de apoyo como la formación del suelo y el ciclo de nutrientes y servicios culturales tales como beneficios recreativos, espirituales, religiosos y otros beneficios no materiales (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a). En la revisión, 7 de las 8 metodologías encontradas usaron la clasificación de servicios ecosistémicos propuesta por la EM.

Las evaluaciones estuvieron enfocadas a varios servicios y no solo al servicio hidrológico de suministro. Por ejemplo, la evaluación de los servicios ecosistémicos que se ven potencialmente afectados por los plaguicidas y otros químicos en los paisajes agrícolas ((EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), 2010) ,(Maltby et al., 2017)), abordó los siguientes servicios:

- **Servicios de aprovisionamiento:**

En áreas de cultivo: Comida, fibra, combustible

Fuera de las áreas de cultivo: comida, recursos genéticos y agua dulce

- **Servicios de regulación:**

En áreas de cultivo: polinización, regulación de plagas y enfermedades

Fuera de las áreas de cultivo: Polinización, regulación de plagas y enfermedades regulación del agua, regulación de la erosión, purificación del agua

- **Servicios culturales:**

En áreas de cultivo: Educación e inspiración, recreación y ecoturismo, patrimonio cultural

Fuera de las áreas de cultivo: Educación e inspiración, recreación y ecoturismo, patrimonio cultural, valor estético.

- **Servicios de apoyo:**

En áreas de cultivo: Producción primaria, fotosíntesis

Fuera de las áreas de cultivo: Producción primaria, fotosíntesis, provisión de hábitat, formación y retención del suelo, ciclo de nutrientes, ciclismo acuático.

Para la evaluación de riesgos ambientales de plagas se combinaron las categorías de servicios de regulación y de apoyo, así ((EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a), (Gilioli et al., 2014), (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2014), (Gilioli et al., 2017)):

- **Servicios de aprovisionamiento:** Comida, fibra, recursos genéticos, bioquímicos, medicinas naturales, recursos ornamentales, agua dulce.
- **Servicios de regulación y apoyo:** Regulación de la calidad del aire, regulación climática, regulación del agua, ciclismo acuático, formación del suelo, regulación de la erosión, ciclo de nutrientes, fotosíntesis y producción primaria, regulación de plagas, regulación de enfermedades, polinización.

Para la evaluación de riesgos de mezclas químicas y otros factores de estrés para los servicios de los ecosistemas costeros abordaron los siguientes servicios (Syberg et al., 2017):

- **Producción de alimentos:** producción de pescado y agua potable limpia
- **Servicios culturales:** valores estéticos y científicos del ecosistema
- **Ecoturismo:** pesca recreativa y natación
- **Mantenimiento del hábitat:** capacidad del ecosistema para servir como vivero y ruta de transporte de organismos y nutrientes.

Para la evaluación del riesgo de un contaminante específico químico como el Zinc para la prestación de servicios, los servicios ecosistémicos considerados incluyeron (Brown et al., 2021):

- **Servicios de aprovisionamiento:** comida, fibra, agua dulce, agua para uso no consuntivo.
- **Servicios de regulación:** purificación del agua y tratamiento de residuos
- **Servicios culturales:** patrimonio cultural (incluida la observación de la naturaleza), recreación y turismo (incluida la pesca)
- **Servicios de apoyo:** mantener las poblaciones y los hábitats de los viveros

Se puede concluir que los estudios de evaluación de riesgos ambientales de plaguicidas y otros químicos, abordaron los 4 servicios como los clasifica la EM y en cuanto a la presencia de plagas combinaron las categorías de servicios de regulación y apoyo y también tuvieron en cuenta la de aprovisionamiento, como se ve en la Tabla 1.

Tabla 1

Servicios ecosistémicos

Servicios Ecosistémicos				
Artículos	Servicios de aprovisionamiento	Servicios de regulación	Servicios de apoyo	Servicios culturales
Plaguicidas y químicos	Comida, fibra, combustible, recursos genéticos, medicinas naturales y agua dulce.	Polinización, regulación de plagas y enfermedades, regulación del agua, regulación de la erosión	Producción primaria, fotosíntesis, provisión de hábitat, formación y retención del suelo, ciclo de nutrientes	Educación e inspiración, recreación, ecoturismo, patrimonio cultural
Plagas, especies invasoras		Polinización, regulación de enfermedades, regulación de plagas, regulación de la calidad del		

aire, regulación climática,
regulación del agua, ciclismo
acuático, formación del suelo,
regulación de la erosión, ciclo de
nutrientes y fotosíntesis

4.4. Metodologías propuestas para la evaluación de riesgos en servicios ecosistémicos

Cuatro de los estudios consultados basaron sus metodologías para la evaluación de riesgos a la prestación de servicios ecosistémicos en la “Guía sobre un marco armonizado para evaluaciones de riesgo de plagas y la identificación y evaluación de opciones de manejo de riesgo de plagas por la EFSA” planteada por el panel sobre Sanidad vegetal de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA PLH por sus siglas en inglés, 2010), que hoy en día se sigue utilizando. No obstante, se evidenciaron adaptaciones y modificaciones a esta metodología, por otro lado, la metodología del artículo 6 también se basa en una metodología anterior planteada en el artículo 1 por el Panel sobre Productos Fitosanitarios de la EFSA y agregando modificaciones. Las Tablas 2 y 3 sintetizan los pasos empleados para las evaluaciones, organizadas en función de los dos ámbitos de interés que se identificaron para las evaluaciones: i) riesgos asociados a plaguicidas o químicos y ii) riesgos asociados a plagas o especies invasoras.

Tabla 2.

Pasos de las metodologías implementadas para la evaluación de riesgos asociados a plaguicidas o químicos

	Artículos			
	Plaguicidas y químicos			
Pasos de las metodologías	1	6	7	8
Revisión de literatura	X			X
Selección del marco conceptual de SE	X	X	X	X

Matriz de servicios de hábitat X ecosistema	X			
Mapeo de elementos de calidad biológica para los SE priorizados				X
Identificación de los SE que pueden verse afectados	X	X	X	X
Clasificación del impacto	X			
Identificación de los factores clave	X	X		X
Identificación de dimensiones	X	X		
Entidad ecológica	X	X		
Atributos o características	X	X		
Magnitud del efecto	X	X		
Definición de escalas espacial y temporal	X	X	X	
Identificación de los factores de estrés				X
Traducción del impacto relacionado con el factor de estrés en unidades de SE				X
Clasificación de los factores estresantes en función de los efectos adversos sobre los SE			X	
Evaluación de niveles observados frente a los esperados				X
Evaluación del impacto del Zinc				X

Tabla 3

Pasos de las metodologías implementadas para la evaluación de riesgos asociados a plagas o especies invasoras

	Artículos			
	Plagas, especies invasoras			
Pasos de las metodologías	2	3	4	5
Revisión de literatura	X	X		X
Identificación de la unidad proveedora del servicio	X	X	X	X

Identificación de los rasgos funcionales	X	X	X	X
Desarrollo de escenarios y supuestos	X	X	X	X
Presión poblacional				X
Definición de escala temporal	X	X	X	X
Definición de escala espacial	X	X	X	X
Estimación de resistencia, resiliencia y medidas de gestión	X	X	X	X
Sistema de valoración	X	X	X	X

4.5. Descripción de pasos encontrados en las metodologías propuestas para la evaluación de riesgos en servicios ecosistémicos

A continuación, se describen brevemente los pasos identificados en las metodologías revisadas:

Revisión de literatura

Este paso se incluyó en 5 de los 8 artículos ((EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), 2010), (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a),(Gilioli et al., 2014),(Gilioli et al., 2017), (Brown et al., 2021)), consiste en hacer una revisión de documentos científicos relevantes, relacionados con la magnitud de los impactos ambientales causados.

Selección del marco conceptual de Servicios Ecosistémicos (SE)

Este paso se incluyó en 4 artículos ((EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), 2010),(Maltby et al., 2017),(Syberg et al., 2017),(Brown et al., 2021)) y consistió en elegir los SE como concepto general para derivar objetivos de protección específicos, buscando proporcionar un vehículo para la integración de la sostenibilidad social y ambiental del análisis.

Matriz de servicios de hábitat x ecosistema:

Este paso lo incluye el artículo 6 (Maltby et al., 2017), es una modificación al paso anterior, en donde se incluye la construcción de una matriz de servicios de hábitat X ecosistema; se clasifican los SE como lo hizo la evaluación de ecosistemas del milenio, con algunas adaptaciones, considerando 6 servicios de aprovisionamiento, 8 servicios de regulación, 6 servicios culturales y 3 servicios de poyo; los ecosistemas los clasificaron en 11 tipos de hábitats siguiendo la tipología MAES y una codificación utilizando el Sistema Europeo de Información sobre la Naturaleza (código EUNIS), los hábitats generales y los códigos EUNIS utilizados fueron: Urbano (J), Tierras de cultivo (I), Pastizales (E), Bosques (G), brezales, arbustos y tundra (F), humedales (D), ríos y lagos (C), entradas y aguas de transición (X01-X03, A1-A5,A7), marino costero (A1-A5, A7), plataformas marinas (A5, A7), mar abierto (A6, A7). EUNIS es una clasificación jerárquica que divide amplias categorías de hábitat en 5282 tipos de hábitats distintos. La información se organiza en una tabla en donde se clasifica la importancia relativa de los hábitats para la prestación de servicios ecosistémicos así: +pequeño, ++intermedio, +++ grande, ? desconocido; las celdas en blanco indican que el hábitat no se considera importante para brindar los servicios ecosistémicos de interés. El Apéndice A muestra el tipo de matriz que se obtiene.

Mapeo de los elementos de calidad biológica para servicios ecosistémicos priorizados localmente

Este paso lo incluye el artículo 8 (Brown et al., 2021) y consiste en que a partir de revisiones de literatura se, mapean los servicios ecosistémicos que fueron priorizados en el cuerpo de agua seleccionado. Los criterios de priorización para los servicios de los ecosistemas incluyeron: valor de amenidad percibido, línea de base actual, consecuencia de la intervención versus ninguna intervención, análisis costo-beneficio, evaluación de la probabilidad de éxito de la(s) intervención (es) mitigantes. Después del mapeo inicial, se asignaron categorías taxonómicas ordenadas

jerárquicamente (taxones) para representar elementos de calidad biológica a cada uno de los servicios ecosistémicos priorizados. Los taxones se mantuvieron en distintos grupos funcionales (por ejemplo, alimentadores de filtración de macroinvertebrados, raspadores, trituradoras, recolectoras).

Identificación de los SE que pueden verse afectados

Este paso fue adelantado en 4 de las investigaciones consultadas ((EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), 2010),(Maltby et al., 2017),(Syberg et al., 2017),(Brown et al., 2021)) y consiste en identificar los SE que tienen más probabilidades de verse afectados. Esta probabilidad se expresa en función de la importancia relativa y el nivel potencial de impacto de la exposición a sustancias químicas en la prestación del servicio.

Clasificación del impacto potencial de la exposición química para cada combinación de hábitat x servicio del ecosistema

Este paso lo incluye el artículo 6 (Maltby et al., 2017) como una modificación al paso anterior, consiste en considerar los impactos adversos y categorizarlos como altos, medios o bajos.

Identificación de los factores clave

Este paso se incluyó en 3 artículos ((EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), 2010),(Maltby et al., 2017) ,(Brown et al., 2021)), consiste en identificar los factores claves a través de los cuales podrían ocurrir impactos en los SE relevantes. Un factor clave es definido como los principales grupos taxonómicos o funcionales que brinda el servicio ecosistémico y se definen para cada objetivo de protección específico ya que no se puede estudiar todas las especies que pueden estar expuestas, en estos casos, a plaguicidas. Por lo tanto, se considera la sensibilidad toxicológica y los rasgos del ciclo de vida que limitarían el potencial de

recuperación de las especies (ejemplo, baja fecundidad, ciclo de vida largo y dispersión limitada) (EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), 2010).

Identificación de las dimensiones, este paso se incluyó en 2 artículos ((EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), 2010), (Maltby et al., 2017)), consiste en identificar las dimensiones de las opciones de los objetivos de protección específicos (SPG), para cada combinación de servicios ecosistémicos (SE) y factor clave, los objetivos deben identificarse en términos de escalas temporales y espaciales que sean lo suficientemente precisas para ser evaluadas, se identifica lo siguiente:

Entidad ecológica que se va a proteger: individuos, poblaciones, grupos funcionales o ecosistemas (Panel et al., 2010).

Atributo(s) o características de la entidad: comportamiento, supervivencia/ crecimiento, abundancia/biomasa, procesos, biodiversidad(Panel et al., 2010).

Magnitud del efecto: que se puede tolerar para los atributos a medir, que puede incluir disminuciones y aumentos debido a efectos indirectos

Escala temporal del efecto: tiempo máximo anual durante el cual se espera que los eventos de exposición/ efecto crítico se espera que ocurran (Panel et al., 2010)

Escala espacial del efecto: distancia desde los lugares de aplicación donde las exposiciones y el nivel de efecto crítico se espera que ocurran (Panel et al., 2010).

Identificación de los factores de estrés relevantes, este paso lo incluye en artículo 7 (Syberg et al., 2017), consiste en identificar factores de estrés relevantes que impactan el SE de interés, incluidos los productos químicos, los factores estresantes relevantes variarán según el SE en foco.

Traducción del impacto relacionado con el factor de estrés en unidades de SE, este paso lo incluye en artículo 7 (Syberg et al., 2017), el riesgo potencial de la mezcla química se determinó

como la suma de los cocientes de peligro individuales, es decir, la concentración medida dividida por el umbral establecido para la concentración segura para el consumo humano de cada sustancia química, este último se recopiló de los expedientes y las hojas de datos estándar de calidad ambiental compiladas en el contexto de la Directiva Marco Europea del Agua.

Clasificación de los factores estresantes en función de los efectos adversos sobre los SE, este paso lo incluye el artículo 7 (Syberg et al., 2017) e involucra la clasificación de los productos químicos individuales en función de su contribución de toxicidad a la mezcla general, esta clasificación ofrece oportunidades para las medidas de gestión de riesgos porque identifica los compuestos críticos y las clases químicas, también que se pueda identificar actividades humanas que podrían estar comprometiendo la idoneidad de las poblaciones de peces de la zona para el consumo humano.

Evaluación de los niveles observados frente a los esperados de prestación de servicios ambientales, este paso lo incluye el artículo 8 (Brown et al., 2021) así:

Compararon los datos de taxa X abundancia observados con los “valores esperados” para la masa de agua seleccionada, de acuerdo con un conjunto de modelos de plantilla de hábitat de la Directiva Marco del agua (DMA). La relación de valores observados / esperados genera índices de calidad ecológica (Ecological Quality Indices - EQI) que se utilizan convencionalmente en la Directiva Marco del agua (DMA) para definir el estado ecológico de la masa de agua de acuerdo con los límites de clasificación de calidad establecidos para cada elemento de calidad biológica. En este estudio, la cuantificación de la prestación potencial de servicios ecosistémicos de grupos funcionales o taxones observados y esperados se basó en datos de rasgos funcionales obtenidos de publicaciones y bases de datos clave.

Evaluación del impacto del Zinc en los servicios ecosistémicos priorizados, este paso lo incluye el artículo 8 (Brown et al., 2021):

Realizaron una evaluación más amplia del riesgo ecotoxicológico del Zinc en el cuerpo de agua seleccionado siguiendo el procedimiento estandarizado aceptado por la UE descrito por el Grupo Asesor Técnico del Reino Unido para la DMA (UK TAG 2013) y el documento de Orientación Técnica para la Implementación de Estándares de Calidad Ambiental para Metales basados en la biodisponibilidad (Comisión de la UE, 2020; en prensa). La evaluación se basó en distribuciones de sensibilidad de especies para el Zinc, que incorporan microalgas, peces y macroinvertebrados.

A continuación, se describen los pasos que solo fueron considerados en las evaluaciones asociadas a plagas o especies invasoras.

Identificación de la unidad proveedora del servicio, este paso lo incluyen 4 artículos ((EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a), (Gilioli et al., 2014), (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2014), (Gilioli et al., 2017)), consiste en identificar el componente de biodiversidad necesario para brindar un servicio del ecosistema dado al nivel requerido por los beneficiarios del servicio, es la colección de individuos de una o más especies que poseen ciertas características o atributos de rasgo necesarios para la prestación de los servicios (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011b).

Identificación de los rasgos funcionales, este paso lo incluyen 4 artículos ((EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a), (Gilioli et al., 2014), (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2014), (Gilioli et al., 2017)) y consiste en identificar los componentes de las unidades proveedoras del servicio, que influyen en las propiedades del ecosistema o las respuestas de las especies a las condiciones ambientales y que determinan cómo responde una especie a una perturbación o un

cambio en el medio ambiente debido a la acción de un impulsor (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a).

Desarrollo de escenarios y supuestos, este paso lo incluyen 4 artículos ((EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a), (Gilioli et al., 2014), (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2014), (Gilioli et al., 2017)) y se busca explorar qué desarrollos futuros pueden ser provocados por los factores de estrés, se puede hacer al describir la cadena causal mediante la cual se puede estimar un efecto, incluso la descripción narrativa de la ruta del efecto. Para el desarrollo de estos escenarios es necesario considerar los supuestos sobre el estado inicial del sistema y las tendencias futuras. Los supuestos son: la escala temporal y espacial para estimar la resistencia y la resiliencia de la unidad proveedora del servicio afectada

Presión poblacional, este paso se incluyó en 1 artículo (Gilioli et al., 2017), consiste en expresar la abundancia de la población de la plaga (caracoles), en términos de biomasa por unidad de área, con un modelo demográfico se estimó la presión poblacional de los caracoles y se predice la distribución de su abundancia en función de la variación espacial.

Definición de escala temporal, este paso se incluyó en 4 artículos ((EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a), (Gilioli et al., 2014), (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2014), (Gilioli et al., 2017)) y se define como el tiempo relevante para que se explore o gestione el principal problema de interés. Para ayudar a delimitar esta escala se puede tener en cuenta la tasa de propagación de la plaga y la tasa de aparición del impacto, cuanto más rápida sea la aparición de cambios en el ecosistema afectado (baja resistencia) más corto podría ser la escala temporal.

Definición de escala espacial, este paso se incluyó en 4 artículos ((EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a), (Gilioli et al., 2014), (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2014), (Gilioli

et al., 2017)) y se define como el área total afectada por el factor de estrés en la escala temporal seleccionada.

Estimación de resistencia, resiliencia y medidas de gestión, este paso se incluyó en 4 artículos ((EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a), (Gilioli et al., 2014), (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2014), (Gilioli et al., 2017)) se estiman tres aspectos:

Resistencia: es la capacidad del servicio para soportar cambios del ecosistema; si el impacto se define como el porcentaje de pérdida en el nivel de prestación del servicio, se consideran tres opciones diferentes: i) resistencia baja: la tendencia del impacto muestra desde el inicio un crecimiento significativo, con la posibilidad de alcanzar rápidamente un nivel de saturación; ii) resistencia media: la pérdida del servicio crece gradualmente en el tiempo (por ejemplo, lineal), sin aparecer un cambio brusco en la tasa de variación del impacto; iii) resistencia alta: el impacto parece no emerger hasta cierto punto en el tiempo cuando puede ocurrir una rápida variación.

Resiliencia: la tendencia a la modificación del ecosistema puede ser casi completamente reversible (alta resiliencia) o irreversible (baja o nula resiliencia)

Medidas de gestión: los supuestos sobre la presencia, tipo y eficacia de las medidas de manejo existentes que permiten modificar posibles tendencias de impacto de la plaga, hay dos opciones: i) ninguna medida de gestión o acciones que no modifiquen el patrón del impacto; ii) medidas de gestión capaces de modificar el patrón del impacto mediante: a) contención y erradicación, b) modificación de la intensidad de la acción impulsora, c) resistencia y/o resiliencia de las comunidades y ecosistemas invadidos.

Sistema de valoración, este paso lo incluyen 4 artículos ((EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2011a), (Gilioli et al., 2014), (EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2014), (Gilioli et al.,

2017)) y consiste en aplicar un método de evaluación de riesgos para ayudar al evaluador a determinar si la introducción de la plaga tendrá o puede tener consecuencias sobre la biodiversidad estructural y los servicios de los ecosistemas en el área de estudio. El método de valoración consiste en:

- I) una lista de $k=1, \dots, k$ preguntas y $i=1, \dots, i$ sub-preguntas
- II) un sistema de calificación que incluye:
 - a) una evaluación del nivel de riesgo para cada sub-pregunta
 - b) un cálculo de un índice de riesgo para cada pregunta
 - c) una evaluación del grado de incertidumbre relacionado con las respuestas de cada sub-pregunta
 - d) el cálculo de un índice de incertidumbre asociado a la respuesta de cada pregunta

5. Metodología propuesta

Como resultado de esta revisión de literatura se obtuvo información sobre la evaluación de riesgos a la prestación de servicios ecosistémicos en general, pero no especialmente enfocada en el servicio de suministro de agua, que era el propósito inicial. No obstante, con las metodologías estudiadas, es posible proponer una metodología adaptada a la evaluación de este servicio.

En este caso, se busca prevenir la reducción de oferta hídrica debido a la utilización para fines extractivos e in situ, como también la contaminación del recurso debido al uso de suelos y actividades antrópicas. Los pasos propuestos para este análisis se sintetizan en la “Figura 4” y se describen a continuación:

5.1. Pasos de la metodología

- 1) Revisión de literatura: teniendo en cuenta la continua evolución del conocimiento, el primer paso consta en, al momento de realizar la evaluación, actualizar la revisión del estado actual de las evaluaciones de riesgos a la prestación del servicio de suministro de agua, incluyendo documentos científicos relevantes.
- 2) Identificación de la unidad proveedora del servicio: componente de la biodiversidad necesario para brindar un servicio del ecosistema, para el caso del servicio de suministro pueden considerarse, la vegetación, los suelos y microbios, que eliminan los contaminantes del flujo superficial y del agua subterránea atrapando físicamente el agua y los sedimentos, adhiriéndose a los contaminantes, reduciendo la velocidad del agua para mejorar la infiltración, mediante la transformación bioquímica de nutrientes y contaminantes, absorbiendo agua y nutrientes de la raíz, estabilizando los bancos erosionados y diluyendo el agua contaminada. La vegetación con menores necesidades de agua proporciona mayores beneficios de suministro de agua que los que proporciona un ecosistema de mayor uso del agua (Brauman et al., 2007b).
- 3) Identificación de las dimensiones
 - i) Entidad ecológica que se va a proteger: poblaciones, grupos funcionales o ecosistemas
 - ii) Atributos del servicio: los servicios hidrológicos se definen por atributos de cantidad, calidad, ubicación y momento del flujo. Esto puede ser de forma cuantitativa o cualitativa, así (Brauman et al., 2007b): 1) Cantidad: almacenamiento y flujo de aguas superficiales y subterráneas, 2) Calidad: patógenos, nutrientes, salinidad, sedimento, 3) Ubicación: suelo/ superficie, arriba/abajo, dentro/fuera del canal, 4) Momento del flujo: flujos máximos, flujos base, velocidad

- iii) Magnitud del efecto que se puede tolerar para los atributos a medir, que puede incluir disminuciones y aumentos debido a efectos indirectos, pueden ser efectos insignificantes, medianos, pequeños y grandes.
- 4) Identificación de los factores de estrés/riesgos/peligros naturales, ya sean productos químicos que contaminen el agua potable, la eutrofización, cambio o pérdida del hábitat y otros factores que puedan afectar la calidad y la cantidad del servicio.
- 5) Desarrollo de escenarios y supuestos: estos son intentos de explorar qué desarrollos futuros pueden ser provocados por los factores de estrés, se puede hacer al describir la cadena causal mediante la cual se puede estimar un efecto, incluso la descripción narrativa de la ruta del efecto. Para el desarrollo de estos escenarios es necesario considerar los supuestos sobre el estado inicial del sistema y las tendencias futuras. Los supuestos son: la escala temporal y espacial para estimar la resistencia y la resiliencia de la unidad proveedora del servicio afectada
 - i) Escala temporal: tiempo relevante para que se explore o gestione el principal problema de interés. Para ayudar a delimitar esta escala se puede tener en cuenta la tasa de aparición del impacto, cuanto más rápida sea la aparición de cambios en el ecosistema afectado (baja resistencia) más corto podría ser la escala temporal.
 - ii) Escala espacial: área total afectada por el factor de estrés en la escala temporal seleccionada.
 - iii) Resistencia: capacidad del servicio para oponerse a la resistencia al cambio del ecosistema, diferentes patrones en la evaluación de la escala temporal del impacto ofrecen la posibilidad de considerar 3 opciones diferentes, si el

impacto se define como el porcentaje de pérdida en el nivel de prestación del servicio:

Baja resistencia: la tendencia del impacto muestra desde el inicio un crecimiento significativo.

Resistencia media: la pérdida del servicio crece gradualmente en el tiempo (por ejemplo, lineal), sin aparecer un cambio brusco en la tasa de variación del impacto.

Alta resistencia: el impacto parece no emerger hasta cierto punto en el tiempo cuando puede ocurrir una rápida variación.

- iv) Resiliencia: tendencia a la modificación del ecosistema puede ser casi completamente reversible (alta resiliencia) o irreversible (baja o nula resiliencia)
- v) Medidas de gestión: implementación de medidas de gestión para prevenir o disminuir el impacto.

Figura 4

Pasos de la metodología propuesta



6. Conclusiones y recomendaciones

El servicio hidrológico de suministro de agua abarca grandes beneficios para el ser humano y los ecosistemas, ya que por medio de estos nos proveemos de energía, alimento, desarrollo comercial e industrial y recreación acuática y transporte; la prestación de estos servicios se ve amenazada por aspectos como extracciones, contaminación de corrientes de agua y el cambio en el uso de los suelos.

Con esta revisión se pudo ver la escasa investigación publicada sobre metodologías que aborden específicamente la evaluación de riesgos a la prestación del servicio hidrológico de suministro de agua. Las metodologías encontradas se enfocan en evaluar el riesgo generado por un perturbador (ej. Químicos o plagas), sobre varios servicios ecosistémicos. No obstante, se propuso una metodología con la información recolectada.

Se encontró que las guías propuestas por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) son las más usadas para evaluar riesgos ambientales a la prestación de servicios ecosistémicos, incluyendo riesgos asociados a plaguicidas, químicos, plagas y especies invasoras.

Una metodología de Evaluaciones de Riesgos Ambientales aplicada al servicio hidrológico de suministro puede incluir las siguientes etapas: i) Revisión de literatura, ii) Identificación de la unidad proveedora del servicio, iii) Identificación de las dimensiones, iv) Identificación de los factores de estrés/riesgos/peligros, v) Desarrollo de escenarios y supuestos.

Con este artículo también se busca aportar un granito de arena a el logro de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) vinculados al medio ambiente y el bienestar humano debido a las grandes contribuciones que tienen los servicios ecosistémicos para el cumplimiento de estos.

La preocupación por la prestación de los servicios hidrológicos de suministro de agua nos compete a todos, el deterioro y pérdida de estos servicios cada vez se ve más en auge por la falta de compromiso y ambición de los gobernantes y de nosotros como sociedad, debido a eso se recalca la importancia de la inversión y cumplimiento de investigaciones que estén enfocadas en evaluación de riesgos ambientales a la prestación del servicio hidrológico de suministro de agua, para que sean apoyadas y defendidas con el valor que se merecen.

Referencias bibliográficas

- Balvanera, P., & Cotler, H. (2007). *Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos*.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908502>
- Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K. eo, & Mooney, H. A. (2007a). The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, 67–98.
<https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>
- Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K., & Mooney, H. A. (2007b). The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Annual Review of Environment and Resources*, 32(1), 67–98.
<https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>
- Brown, A. R., Marshall, S., Cooper, C., Whitehouse, P., van den Brink, P. J., Faber, J. H., & Maltby, L. (2021). Assessing the feasibility and value of employing an ecosystem services approach in chemical environmental risk assessment under the Water Framework Directive. *Science of the Total Environment*, 789, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147857>
- EFSA Panel on Plant Health (PLH). (2011a). Guidance on the environmental risk assessment of plant pests. *EFSA Journal*, 9(12). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2460>
- EFSA Panel on Plant Health (PLH). (2011b). Guidance on the environmental risk assessment of plant pests. *EFSA Journal*, 9(12). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2460>
- EFSA Panel on Plant Health (PLH). (2014). Scientific Opinion on the environmental risk assessment of the apple snail for the EU. *EFSA Journal*, 12(4), 1–97.
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3641>

- EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR). (2010). Scientific Opinion on the development of specific protection goal options for environmental risk assessment of pesticides, in particular in relation to the revision of the Guidance Documents on Aquatic and Terrestrial Ecotoxicology (SANCO/3268/2001 and SANCO/10329/2002). *EFSA Journal*, 8(10). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1821>
- Gilioli, G., Schrader, G., Baker, R. H. A., Ceglarska, E., Kertész, V. K., Lövei, G., Navajas, M., Rossi, V., Tramontini, S., & van Lenteren, J. C. (2014). Environmental risk assessment for plant pests: A procedure to evaluate their impacts on ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 468–469, 475–486. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.068>
- Gilioli, G., Schrader, G., Carlsson, N., van Donk, E., van Leeuwen, C. H. A., Martín, P. R., Pasquali, S., Vilà, M., & Vos, S. (2017). Environmental risk assessment for invasive alien species: A case study of apple snails affecting ecosystem services in Europe. *Environmental Impact Assessment Review*, 65, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.03.008>
- Groot, R. de. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas*, 16(3), 4–14. <https://doi.org/10.7818/re.2014.16-3.00>
- Maltby, L., Jackson, M., Whale, G., Brown, A. R., Hamer, M., Solga, A., Kabouw, P., Woods, R., & Marshall, S. (2017). Is an ecosystem services-based approach developed for setting specific protection goals for plant protection products applicable to other chemicals? *Science of the Total Environment*, 580, 1222–1236. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.083>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and Humans Well-being. Synthesis. In H. A. Mooney, A. Cropper, D. Capistrano, S. Carpenter, K. Chopra, P. Dagupta, R. Leemans, R. May, P. Pingali, R. Hassan, C. Samper, R. Scholes, R. Watson, A. H. Zakri, & Z. Shidong

(Eds.), *Assessment of Climate Change in the Southwest United States: A Report Prepared for the National Climate Assessment*. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-484-0_1

Millennium Ecosystem Assessment Panel. (2005). *ECOSYSTEMS AND HUMAN WELL-BEING* (J. Sarukhán, A. Whyte, & Ma Board of Review Editors, Eds.; Issue May 2017). https://www.researchgate.net/publication/40119375_Millennium_Ecosystem_Assessment_Synthesis_Report

Organización de las Naciones Unidas. (2015). Objetivos de desarrollo del milenio. In Nuevas Ediciones S.A (Ed.), *Humanismo y trabajo social* (Issue 5). <https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/presscenter/articles/2015/09/28/-c-mo-le-fue-a-colombia-con-los-odm-.html>

Organización de las Naciones Unidas. (2020). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2020. In *Onu*. https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish.pdf

Panel, E., Products, P., & Ppr, R. (2010). Scientific Opinion on the development of specific protection goal options for environmental risk assessment of pesticides, in particular in relation to the revision of the Guidance Documents on Aquatic and Terrestrial Ecotoxicology (SANCO/3268/2001 and SA. *EFSA Journal*, 8(10), 1–55. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1821>

Syberg, K., Backhaus, T., Banta, G., Bruce, P., Gustavsson, M., Munns, W. R., Rämö, R., Selck, H., & Gunnarsson, J. S. (2017). Toward a conceptual approach for assessing risks from chemical mixtures and other stressors to coastal ecosystem services. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13(2), 376–386. <https://doi.org/10.1002/ieam.1849>

Wood, S. L. R., Jones, S. K., Johnson, J. A., Brauman, K. A., Chaplin-Kramer, R., Fremier, A., Girvetz, E., Gordon, L. J., Kappel, C. v., Mandle, L., Mulligan, M., O'Farrell, P., Smith, W. K., Willemen, L., Zhang, W., & DeClerck, F. A. (2018). Distilling the role of ecosystem services in the Sustainable Development Goals. *Ecosystem Services*, 29, 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.010>

REVISIÓN DE LITERATURA

Apéndices

Apéndice A Matriz de servicios de hábitat x ecosistema

Servicios ecosistémicos		Terrestre						Agua dulce	Marina			
		Urban o	Tierras de cultivo	Pastizales	Bosques	Brezales, arbustos y tundra	Humedales	Ríos y lagos	Entradas y aguas de transición	Marino costero	Plataforma marina	Mar abierto
		J	I	E	G	F	D	C	X01-X03, A1-A5, A7	A1-A5, A7	A5, A7	A6, A7
Servicios de aprovisionamiento	Comida	++	+++	++	+	++	++	++	++	++	++	++
	Fibra y combustible	++	+++	++	+++	++	++	+	++	+	+	+
	Recursos genéticos	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	Medicamentos bioquímicos/naturales	?	++	+	++	++	+	+	++	+	+	
	Recursos ornamentales	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
	Agua dulce	++	++	+	+++	+++	+++	+++				
Servicios de regulación	Polinización	++	+++	+++	++	+++	++	+	++			
	Regulación de plagas y enfermedades	++	+++	+	++	+	++	++	+	++	++	++
	Regulación del clima	+++	+++	++	+++	++	+++	++	++	+++	+++	+++

REVISIÓN DE LITERATURA

	Regulación de la calidad del aire	+++	++	++	+++	++	+	++	+	+++	+++	+++
	Regulación del agua	+++	++	++	+++	++	+++	+++	+++	+		
	Regulación de la erosión	+	++	++	++	+++	++	++	+	++		
	Regulación de peligros naturales	+	++	++	++	+++	++	++	+++	+++	++	++
	Purificación del agua/ remediación del suelo / Tratamiento de residuos	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++
Servicios culturales	Valores espirituales y religiosos	++	+	++	++	++	++	++	+++	+		
	Educación e inspiración	+	+	++	++	++	+++	++	+++	++	+	+
	Recreación y ecoturismo	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++		
	Diversidad cultural y patrimonio	+	++	++	+	++	++	++	++	++		
	Valores estéticos	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++		
	Sentido de lugar	+	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	++		

REVISIÓN DE LITERATURA

Servicios de apoyo	Producción primaria y fotosíntesis	++	+++	++	+++	++	+++	++	+++	++	+	+
	Formación y retención del suelo	++	++	++	++	++	++	++	++			
	Ciclo de nutrientes	++	+++	++	++	++	+++	++	++	+	+	+

Fuente: (Maltby et al., 2017) ¹

¹ Maltby, L., Jackson, M., Whale, G., Brown, A. R., Hamer, M., Solga, A., Kabouw, P., Woods, R., & Marshall, S. (2017). Is an ecosystem services-based approach developed for setting specific protection goals for plant protection products applicable to other chemicals? *Science of the Total Environment*, 580, 1222–1236. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.083>