

Modelo de acciones de socioecogestión para recuperación y conservación del paisaje del humedal de Tecocomulco

Model of socio-management actions for the recovery and conservation of the landscape of the laguna de Tecocomulco wetland

Dr. Fernando Mohedano López  <https://orcid.org/0000-0003-0894-5642>

Dr. Fernando Rico Martínez  <https://orcid.org/0000-0001-6774-8118>

Escuela Superior De Turismo. Instituto Politécnico Nacional. Av. Miguel Bernard No.39
Fracc. La Escalera 07630. CD.MX Alcaldía Gustavo A. Madero. E-mails:
fmohedanol@ipn.mx, fericomee@gmail.com, fricob@ipn.mx

Fecha de recepción: 12 de enero de 2022 Fecha de aceptación: 18 de marzo de 2022

RESUMEN. En este estudio se desarrolló un Modelo de Acciones de Socioecogestión, integral y mixto, como aportación a las metodologías de recuperación y conservación de humedales y sus paisajes, resaltando la participación de la comunidad, expertos, autoridades, desarrollo científico, control biológico y turismo regenerativo, aplicado en la Laguna de Tecocomulco. Las encuestas de percepción y entrevistas a expertos mostraron que el factor que más afecta la laguna es la contaminación por Lirio (*Eichhornia crassipes*). El modelo de sistemas complejos permitió simular la trayectoria de reproducción del Lirio, permitiendo retirarlo controladamente de lugares con mayor concentración. También permitió la vinculación con desarrollos científicos de remediación natural mediante neoquetinos, aplicado de manera piloto mediante turismo regenerativo. Este modelo, puede ser una aportación interesante en la recuperación y conservación del paisaje de humedales, aplicable a otros sistemas de recuperación como son de saberes tradicionales, generando beneficios ambientales, sociales, turísticos y económicos en la comunidad.

Palabras clave: humedales, recuperación del paisaje, socioecogestión, turismo regenerativo.

ABSTRACT. In this study, an integral and mixed Socio-eco-management Action Model was developed as a contribution to the recovery and conservation methodologies of wetlands and their landscapes, highlighting the participation of the community, experts, authorities, scientific developments, biological controls and regenerative tourism, applied in the Laguna de Tecocomulco. Perception surveys and interviews with experts showed that the factor that most affects the lagoon is contamination by water lily (*Eichhornia crassipes*). Complex systems model allowed simulating the reproduction trajectory of the Lily, allowing it to be removed in a controlled manner from places with higher concentration. It also allowed links with natural remediation scientific developments through neoquetinos, applied as a pilot way through regenerative tourism. This model can be an interesting contribution in the recovery and conservation of the wetland landscape, applicable to other recovery systems such as traditional knowledge, generating environmental, social, tourist and economic benefits in the community.

Key words: landscape recovery, regenerative tourism, socio-eco-management, wetlands.

INTRODUCCIÓN

La recuperación y conservación del paisaje de humedales continentales naturales representa el 9% de la riqueza de los ecosistemas a nivel mundial (Kemper 2018). El planeta cuenta con 4.7 millones de km² de humedales, de los cuales el 45% están en el Continente americano (Gumbricht *et al.*, 2017). En relación con ello, México posee el 13.3% de los humedales (Berlanga *et al.*, 2008), y es precisamente allí, donde se ubica el caso de estudio: la Laguna de Tecocomulco, Estado de Hidalgo, considerado como el cuerpo de agua más importante en la Cuenca del Valle de México tanto por su dimensión como por su fauna y flora acuática (Lot 2005).

La laguna de Tecocomulco es una cuenca endorreica que albergaba los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco, ubicada en promedio a los 2,154 metros sobre el nivel del mar (msnm), entre las coordenadas 19°53'20"-19°50'08" Norte. y 98°21'54"- 98°25'44" Oeste; cuenta con una superficie de más de 56,000 hectáreas (ha) perteneciendo a los Estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala de la República Mexicana (Huizar *et al.*, 2005).

La degradación de esta subcuenca, propiciada por el uso humano ha producido, entre otros, el empobrecimiento del suelo, inundaciones y acumulación de sedimentos en cauces de la laguna (Comisión de Cuenca de la Laguna de Tecocomulco, A.C. 2007), modificando la profundidad, superficie y recursos bióticos (Quiroz *et al.*, 2014), factores que podrían contribuir a la contaminación natural, por Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). Cabe mencionar que la disminución de la contaminación por este factor, permitirá entre otros, colaborar en la conservación de la *Nymphoides fallax* Ornduff (Menyanthaceae), hidrófita enraizada de hojas flotantes, conocida en Hidalgo como lirio, el cual es considerada como especie endémica de México y en peligro de extinción (Quiroz *et al.*, 2014) así como al paisaje de la laguna.

Debido a su crecimiento desmesurado y fácil dispersión, el *Eichhornia crassipes*, es considerada como una de las malezas acuáticas más dañinas a nivel mundial (contaminación natural); su alto volumen puede afectar no solo el paisaje del humedal, sino también el flujo de agua y la navegación, debilita estructuras como presas, reduce la penetración de la luz afectando la fotosíntesis de algas lo cual disminuye la calidad del agua, aumentando su turbidez y acidez, comprometiendo el balance fisicoquímico de la región, siendo el lugar propicio para el desarrollo de patógenos y enfermedades como la malaria, para finalmente disminuir la biodiversidad y la llegada de aves migratorias, entre otros (Niño y Lot 1983).

Los humedales realizan funciones ecológicas como la regulación del cambio climático, la administración del metano natural, los reservorios de carbono, la conservación de ecosistemas endémicos, la riqueza ecosistémica y paisajística. Todos estos son factores que impactan directamente en el calentamiento global y proveen la infraestructura necesaria para la subsistencia de la naturaleza y la humanidad (Secretaría de la Convención de Ramsar 2018). A pesar de los beneficios que aportan a la humanidad, las presiones antropogénicas sobre los humedales continúan, disminuyendo la superficie (Agardy *et al.*, 2005) y la resiliencia de los ecosistemas. Esto conlleva también pérdidas económicas considerables, con gastos mundiales de hasta 6.3 billones de dólares anuales debido a la degradación de la Tierra, incluidos los humedales (Bonn 2018).

Por su importancia ambiental, sustentable y económica, las políticas del manejo de conservación y recuperación de humedales y su paisaje, ya están en práctica en algunos países como México, donde la Política Nacional de Humedales (PNH) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat 2014), reconoce la importancia de los humedales para el bienestar ecológico y de la población del país, tomando en cuenta su constante pérdida asociada a costos económicos, sociales y ecológicos.

Algunos investigadores han desarrollado diversas metodologías y modelos para la recuperación de humedales con resultados positivos, como Cuenta y Gumbritch (2018) quienes caracterizaron desde el espacio y sobre el terreno, la degradación de pantanos de palmeras turbosos en la Amazonía peruana, usando tecnología para la medición de la humedad del suelo, contribuyendo en su control y restauración. Fernández *et al.*, (2005), propusieron la clasificación de humedales para su restauración mediante recarga artificial de acuíferos de la Cubeta de Santiuste, mejorando la calidad de las aguas y evitando que aquellas de calidad inferior disminuyan su desplazamiento hacia el "área llamada" captaciones de buena calidad; adicionalmente se realizó la eliminación de aguas residuales urbanas, mejorando los efluentes para su uso en regadíos, aprovechando los excedentes hídricos, que actualmente existen en zonas cultivadas donde antes había humedal. Por su parte, García y otros colaboradores (2002), propusieron la restauración ambiental de la Laguna de Herrera (Antequera, Málaga) mediante: el cegado puntual de canales de drenaje, remodelación parcial del terreno y restauración de las condiciones de encharcamiento; la remodelación del terreno, restauración de suelos y cubierta vegetal, lo cual incrementó la capacidad del lugar para albergar comunidades de interés faunístico o botánico, pudiendo en un futuro ser escenario de actividades de uso público

(educación, recreo e investigación). Castro y otros (2016), realizaron la adaptación en humedales costeros del golfo de México ante los impactos del cambio climático, mediante: la reforestación del manglar, vegetación riparia y desazolve de canales para restaurar el flujo hídrico, aprovechamiento sustentable del manglar mediante una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA), Ordenamiento Ecológico Territorial (OET) del municipio de Alvarado, con enfoque y diseño de medidas de adaptación al cambio climático, utilizando registros batimétricos y curvímetros para medir la profundidad de las variables de las lagunas continentales; lo cual logró incrementar la conciencia de la comunidad con los aspectos ecológicos de los humedales, así como trazar las variaciones de la temperatura del agua que afectan el mesoclima y los microclimas locales. Romanelli y Massone (2016), por su parte, desarrollaron indicadores ambientales e índice de calidad de lagos someros pampeanos de Argentina con alta intervención antrópica, mediante la identificación y definición de problemas, así como la identificación de las áreas prioritarias, obtenidas mediante encuestas a distintos actores sociales; observación y análisis de la calidad y disponibilidad de datos para su desarrollo; elección de indicadores adecuados; asignación de valores mediante fuentes bibliográficas y su aplicación, entre otros, permitiendo obtener al final del proyecto, la integración de información con datos morfométricos, hidroquímicos, de uso de suelo y sociales, así como una herramienta de monitoreo de la calidad ambiental de las lagunas para evaluar su sustentabilidad ambiental, las prácticas y políticas existentes. Arceo, junto con tres colaboradores (2016), analizaron los peces como indicadores de restauración de áreas de manglar en la costa norte de Yucatán, usando en su metodología la recuperación de la estructura y cobertura vegetal, así como la rehabilitación de sus canales de marea, la recuperación de la complejidad de los ensamblajes de peces para restablecer funciones ecológicas, obteniendo al final de la investigación la recuperación del manglar y la fauna acuática. Por otro lado, Zaldívar *et al.*, (2017), con base a la evaluación y manejo conjunto, EE.UU-México, de grandes ecosistemas marinos del Golfo de México, desarrollaron el proyecto denominado: Experiencia en participación comunitaria y restauración de humedales de manglares en la laguna de Términos, México, apoyándose de la participación de la comunidad, restauración y rehabilitación de humedales de manglar, sin perder de vista los desafíos para su réplica y mejoramiento; observando como resultados, una recuperación natural de los humedales, el incremento de su resiliencia, mejoras económicas de las comunidades, apropiación de la restauración por parte de las comunidades y que este desarrollo podría ser aplicable en otros entornos similares como metodología factible. La metodología empleada en la investigación

sobre la "Perspectiva mundial sobre los humedales continentales naturales y de los servicios que prestan a las personas" de Royal *et al.*, (2018), que consiste de la estimación de nutrientes, el empleo de modelos mundiales que estudian la biodiversidad acuática, así como del modelo de manejo forestal basado en la comunidad para promover el uso sostenible, permitieron observar los mecanismos de regulación climática y desarrollar la conciencia ambiental.

En el periodo de la investigación bibliográfica comprendido entre 2017-2019, se encontraron 21 263 casos de recuperación de humedales (continentales y no continentales) y de sus paisajes, entre ellos siete compilaciones de los cuales solo 269 casos, es decir, el 40% fueron exitosos. Con respecto a esos 269 casos, el 90% de los investigadores coincidieron en hacer uso de comunidades locales para realizar la recuperación de los humedales, siendo un factor importante pero no único.

Por esta razón, se realizó un análisis de los elementos que influyen en la eficiencia de la recuperación del paisaje de humedales adicionalmente al de la comunidad, con el objetivo de proponer una metodología concreta de intervención a la que se denominó Modelo de Acciones de Socioecogestión. Este modelo involucra además de la participación de la sociedad en la conservación ecológica, la aplicación de diversos instrumentos científicos que brinden a las comunidades locales la oportunidad de:

- Relacionarse con sus autoridades en todos los niveles.
- Relacionarse con prácticas y soluciones obtenidas de la comunidad científica en casos similares a los experimentados en su entorno.
- Encontrar soluciones ecológicas y naturales para una recuperación eficiente del paisaje de humedales.
- Relacionarse con los visitantes y turistas haciéndolos partícipes de las acciones de recuperación y conservación del paisaje de humedales.

Los estudios científicos en relación con la eficiencia de la recuperación de los humedales, ha cobrado real importancia en los últimos años por ser un elemento esencial de amortiguamiento contra el calentamiento global y el control de la emisión de metano (ONU 2019), el cual es 80 veces más nocivo que el dióxido de carbono. Por ello resulta fundamental la conservación de los humedales ya que actúan como captadores de metales pesados y de metano que influyen directamente en el cambio climático y la contaminación del aire. La necesidad de acelerar esta

recuperación suscita que, dentro del Modelo de Acciones de Socioecogestión, se incorpore a los visitantes y/o turistas en actividades de recuperación del paisaje de humedales como una estrategia para la obtención de recursos humanos comprometidos y consientes para su recuperación en menor tiempo, y con mayor impacto en las sociedades futuras.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación desarrolla la racionalidad de la necesidad que tiene el diseñar un modelo de acciones de Socioecogestión (Mohedano 2020) para recuperar y conservar el paisaje.

La metodología de investigación está constituida por un conjunto de procedimientos que construyen evidencia empírica basada en paradigmas, teniendo por función discutir los fundamentos epistemológicos del conocimiento (Hernández *et al.*, 2014), y generar hipótesis al respecto. La metodología del Modelo de Acciones de Socioecogestión tiene fundamentos teóricos que a continuación se desarrollarán de forma cuantitativa y cualitativa. La presente es una investigación exploratoria en su fase inicial, ya que permite examinar empíricamente la problemática del paisaje del humedal poco explorada en la literatura desde el punto de vista de percepción del paisaje de los visitantes y comunidades, siendo ésta una nueva perspectiva. El estudio exploratorio permitió familiarizarse con el valor que tiene el paisaje para todos los actores mencionados y observar las problemáticas / variables que lo afectan.

Fase 1. Estudio descriptivo. Consistió de la aplicación de 2 encuestas de percepción del paisaje (Yilmaz 2013), siendo aplicadas en julio del 2018 a "todos" los visitantes (8) y comunidad local (6) como restauranteros y jornaleros (trabajadores de la laguna) "por representar un número muy bajo de personas", que se encontraban en el área de comidas frente a la Laguna de Tecocomulco, estado de Hidalgo, México. El objetivo de la presente fue examinar empíricamente la problemática de la laguna.

1. La primera encuesta de percepción constó de 12 preguntas, 2 cerradas y 10 abiertas y fue aplicada a la comunidad local, visitantes, autoridades, comerciantes, trabajadores y otros actores de la Laguna. El objetivo de esta encuesta fue observar la profundidad de la problemática (causas y efectos) del paisaje de la Laguna de Tecocomulco desde diversos puntos de vista de la sociedad, para lo cual se seleccionaron las acciones de intervención, recuperación y conservación del paisaje; así como también la información descriptiva del perfil de los entrevistados. Las características del perfil de los entrevistados se definieron mediante

condiciones personales como edad, género, ocupación, años de habitar en el sitio y las veces que visitó el sitio.

De las 12 preguntas, las preguntas 1 y 12 fueron de tipo cerrado:

1. El entrevistado es de: a) la comunidad, b) visitante, c) otro.

12) ¿Sabías que la laguna tiene reconocimientos internacionales? (sí/no).

Mientras que los otros 10 cuestionamientos (2 al 11), fueron de tipo abierto buscando que los encuestados fueran espontáneos y tuvieran libertad al momento de responder, con el fin de obtener respuestas ricas y variadas que permitieran conocer la forma y características del humedal (Niño 2011).

1) Menciona alguna(s) característica(s) que tiene la laguna que te parezcan agradables a tu vista, las cuales podrías considerar como un paisaje.

2) ¿Mencione al menos uno y un máximo de tres atractivos específicos de la laguna que atraen más la atención por ser extremadamente bellas? (puede ser una casa, los cultivos, la zona del bosque, agua de la laguna, pesca, viaje en la laguna, las aves, o bien, cualquier otro lugar natural o no que te llame mucho la atención).

3) ¿Identifique al menos uno y un máximo de tres atractivos específicos de la laguna que te desagradan más, por ser extremadamente feos? (puede ser una casa, los cultivos, la zona del bosque, agua de la laguna, pesca, viaje en la laguna, las aves, o bien, cualquier otro lugar natural o no que te desagrade mucho de la laguna).

4) ¿En Tecocomulco, a qué lugares bonitos le gusta ir frecuentemente? ¿Para hacer qué? (Diga al menos uno y un máximo de tres).

5) ¿Qué cree que distingue a la laguna, visualmente por su aspecto, de otras zonas cercanas, por ejemplo, sus áreas verdes, sus áreas recreativas, áreas limpias, su comida, la caza, la pesca, etc.?

6) ¿Qué nota que ha cambiado últimamente (en el paisaje), aquí en Tecocomulco? ¿Qué lugares o cosas están más bonitas y cuáles más feas? (nombre al menos uno y un máximo de tres).

7) ¿Qué cosas diría usted que no se deberían cambiar ni destruir nunca? (cite al menos uno y un máximo de tres).

- 8) ¿Qué actividades te gustaría que se realizarán en Tecocomulco y por qué?
- 9) Si tuviera a los responsables del municipio frente a usted ¿Qué les diría que deben arreglar o cambiar porque están feas o requieran mantenimiento (algún lugar, zona, etc.)? (diga al menos uno y un máximo de tres).
- 10) ¿Cómo podrías ayudar a recuperar y mantener en buen estado el paisaje de la laguna?

2. La segunda encuesta de percepción constó de 7 preguntas y fue aplicada a todos los visitantes (8) y comunidad local (6) como restauranteros y jornaleros (trabajadores de la laguna), que se encontraban en el área de comidas frente a la Laguna de Tecocomulco. El objetivo de la presente fue detectar su valoración de las características del paisaje de la laguna como: las condiciones del agua, flora, fauna y actividades en la Laguna, con respuestas que van desde “nada atractivo” hasta “muy atractivo”, siendo los 7 reactivos los listados a continuación:

- 1) El bosque de Tecocomulco es:
- 2) El agua de la Laguna de Tecocomulco es:
- 3) Los peces de la laguna son:
- 4) El paisaje en general de la laguna es:
- 5) Las aves de la laguna son:
- 6) La vegetación de la laguna es:
- 7) Las actividades en la laguna son:

El diseño de las respuestas fue de tipo cerrado con 5 opciones siguiendo la escala de Likert [caracterizada por un número impar de opciones, en este caso 5, dos más cercanas a la postura positiva, una neutral y dos cercanas a la postura negativa], pudiendo contestar a las preguntas entre, me parece:

- 1) Nada atractivo a la vista,
- 2) Poco atractivo a la vista,
- 3) Medio atractivo a la vista,
- 4) Alto atractivo a la vista y
- 5) Muy atractivo a la vista.

Dicha encuesta se realizó en forma presencial, donde el encuestado solo respondió las preguntas y el encuestador las completó en presencia del encuestado dando dinamismo al proceso.

Fase 2. Diagnóstico de condiciones de la laguna. Para este punto se usó el simulador de sistema complejo 2DCAvN (9) propiedad del Laboratorio de *Artificial Life Robotics Laby* en el Laboratorio Internacional de Ciencias de la Computación del Instituto Politécnico Nacional (IPN), disponible de forma gratuita en el laboratorio (ALIROB), el cual describe el comportamiento científico de la reproducción del *Eichhornia crassipes*, a través del estudio y análisis de la distribución de nutrientes en la Laguna, condición que generan la reproducción indiscriminada del *Eichhornia crassipes*, convirtiéndolo en maleza acuática que afecta directamente el paisaje del humedal, entre otras.

El modelo está fundamentado en la propuesta de las metodologías de conservación y recuperación de paisajes de humedales de los diversos autores citados, y ha sido adaptado para mejorar el alcance de los objetivos planteados.

Para realizar el modelo se consideraron las dimensiones y acciones de las metodologías de conservación y recuperación del paisaje de humedales que propusieron diversos autores, estas fueron: la dimensión social propuesta por Morris (2018), Zaldívar *et al.*, (2017), Caso *et al.*, (2016), Calva y Pavón (2018), Evans (2018), Ramsay (2017), United Nations Development Programme in Climate Adaptation (2016); la dimensión ecológica y/o ambiental propuesta por Caso *et al.*, (2016), García *et al.*, (2002), Calva y Pavón (2018), González *et al.*, (2016), Romanelli y Massone (2016), Camacho (2016), UICN y WRI (2014); la dimensión de gestión propuesta por la Secretaría de la Convención de Ramsar (2018), Caso *et al.*, (2016), González *et al.*, (2016), Fernández *et al.*, (2016); la dimensión de monitoreo propuesta por Arceo *et al.*, (2016), Cuesta y Gumbricht (2018), Hergoualc'h *et al.*, (2018); y, finalmente, la dimensión de gobernanza propuesta por Schweizwer *et al.*, (2018).

El modelo planteado evalúa conjuntamente las relaciones positivas entre las dimensiones detectadas y mencionadas por los autores citados, así como aquellas actividades no consideradas por estos como el turismo regenerativo y la remediación científica, todas ellas tendiendo al cumplimiento de los indicadores en el planteamiento del problema como son: Qué porcentaje de recuperación integral del humedal se obtendrá y cuál será el Índice de percepción de recuperación del paisaje del humedal, relacionado directamente con el porcentaje de

recuperación integral del paisaje del humedal y el Índice de percepción de recuperación del paisaje del humedal.

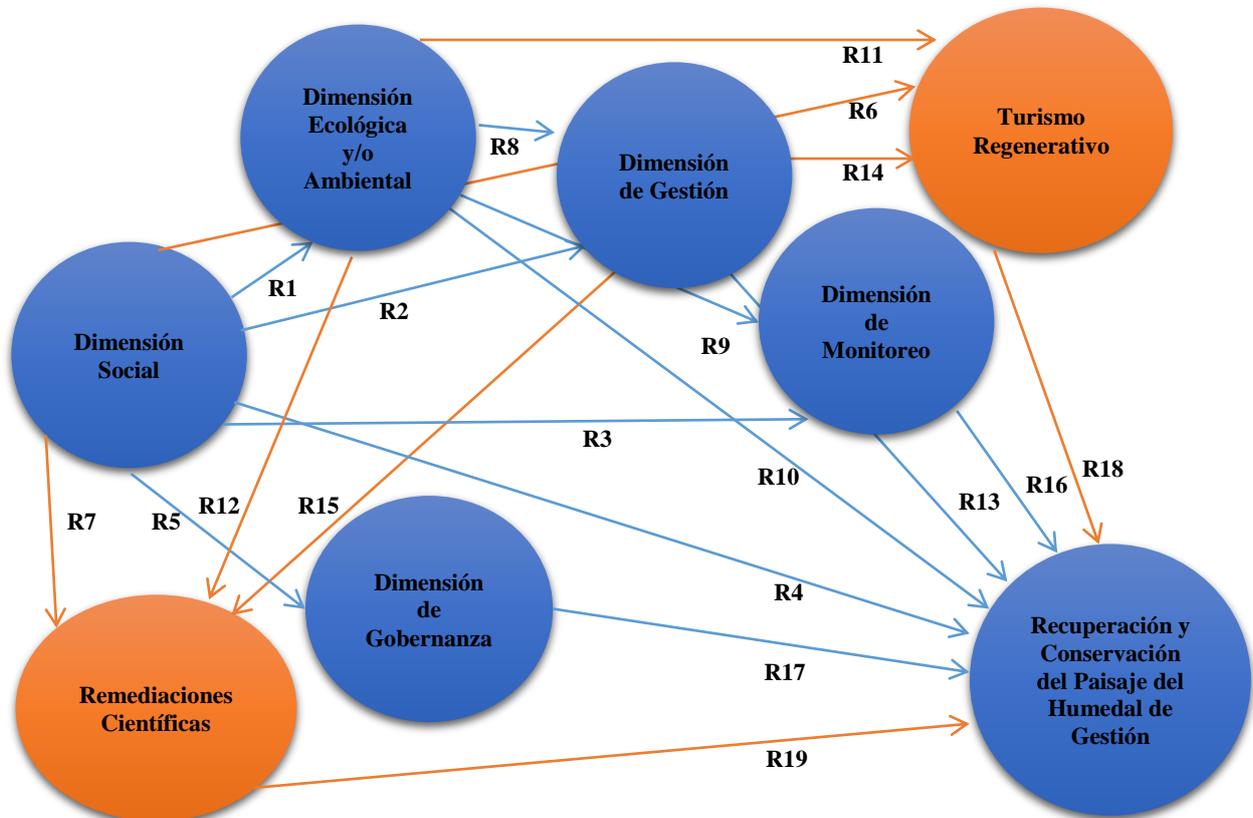


Figura 1. Modelo de Acciones de Socioecogestión. Elaboración propia.

Dónde:



● Acciones realizadas por las metodologías de recuperación y conservación encontradas en la revisión bibliográfica.

● Acciones de mejora propuestas para las metodologías de recuperación y conservación.

El significado de las 5 dimensiones del modelo propuesto es:

- **Dimensión social:** formada por comunidades locales residentes, sector público y privado, así como las ONG.
- **Dimensión ecológica y/o ambiental:** formada por todos los recursos morfológicos naturales y/o antropométricos que existen en el paisaje y/o sitio de estudio.
- **Dimensión de gestión:** formada por las actividades de promoción, permisos y gestión ante las autoridades, las comunidades, los residentes y los visitantes.

- **Dimensión de monitoreo:** formada por el control y seguimiento de las acciones desarrolladas en el humedal.
- **Dimensión de gobernabilidad:** formada por las acciones reglamentarias de las condiciones o estatus de la propiedad de la tierra que se desea recuperar y conservar.

Las relaciones generadas por las dimensiones del Modelo de Acciones de Socioecogestión, fueron:

R1. La sociedad (comunidades locales) se asocia o es responsable directa de la ejecución de acciones de desarrollo ecológico y/o ambiental del humedal.

R2. La sociedad (comunidades locales) se asocia o es responsable directa de la ejecución de acciones de gestión ante las autoridades.

R3. La sociedad (comunidades locales) se asocia o es responsable directa del control y monitoreo del avance de la recuperación del paisaje de humedales.

R4. La sociedad se asocia o es responsable directa de la recuperación y conservación del paisaje de humedales.

R5. La sociedad se asocia o es responsable directa (gobierno y reglamentación) del estatus de la propiedad de la tierra para la recuperación y conservación del paisaje de humedales.

R6. La sociedad se asocia o es responsable directa de actividades de turismo regenerativo que permiten incluir a los visitantes en actividades de regeneración del entorno del paisaje de humedales.

R7. La sociedad se asocia o es responsable directa de actividades de turismo regenerativo que permiten incluir a los visitantes en actividades de remediaciones biológicas, las cuales, a su vez, permiten que el entorno del paisaje de humedales se regenere científicamente.

R8. Existe una relación ecológica y ambiental significativa, y su gestión del paisaje de humedales.

R9. La ecología y el ambiente están relacionados directamente con la gestión del paisaje de humedales.

R10. Las actividades realizadas en el área o hábitat morfológico, como son sus ecosistemas, son directamente responsables de la factibilidad de recuperar y conservar el paisaje del humedal.

R11. Las actividades realizadas en el área o hábitat morfológico, como son sus ecosistemas, son directamente responsables de actividades de turismo regenerativo que permitan incluir a los visitantes en actividades de regeneración del entorno del paisaje de humedales.

R12. Las actividades realizadas en el área o hábitat morfológico, como son sus ecosistemas, son directamente responsables de actividades de remediaciones biológicas que permitan incluir a los visitantes en actividades de regeneración del entorno del paisaje de humedales.

R13. La gestión de los humedales ante todas las instancias genera beneficios directos para la recuperación y conservación del paisaje.

R14. Las actividades de gestión ante las instancias nacionales e internacionales permiten bajar recursos a través de actividades de turismo regenerativo que permitan incluir a los visitantes en actividades de regeneración del entorno del paisaje de humedales.

R15. Las actividades de gestión son directamente responsables de actividades de remediaciones biológicas que permitan incluir a los visitantes en actividades de regeneración del entorno del paisaje de humedales.

R16. El monitoreo y seguimiento de los humedales son mediciones que evalúan el modelo por medio del seguimiento de la recuperación y conservación del paisaje.

R17. Las acciones de gobernanza de los humedales afectan directamente la recuperación y conservación del paisaje.

R18. Las actividades de turismo regenerativo complementan e influyen directamente en los visitantes en acciones de regeneración del entorno del paisaje de humedales.

R19. Las actividades de remediación científica complementan e influyen directamente en las acciones de regeneración del entorno del paisaje de humedales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación cuantitativa aplicada a través del modelo de encuestas de percepción (Julio, 2018) permitieron corroborar la necesidad de recuperar y conservar el paisaje del humedal en cuestión (Romanelli y Massone 2016). Se aplicaron 14 encuestas y 5 entrevistas (diario de investigador), los datos fueron procesados en el programa IBM SPSS Statistics.

Los resultados mostraron que el 42.9% de los encuestados fueron mujeres y 57.1% hombres. El interés de visitar la laguna se evidencia a partir de los 29 años, identificando el poco interés

de los menores de esta edad. Las mujeres locales son las que establecen mayor prioridad en la recuperación del paisaje del humedal. La mayoría de los encuestados 64% encuentran muy atractivo el lugar a pesar de la problemática existente que degrada la belleza del paisaje, los arrojados por las encuestas son: el exceso de lirio acuático 50%, el tule 42.9% y un 7.1% la falta de árboles. Al procesar los resultados descriptivos se puede inferir que uno de los factores que más afecta el paisaje del humedal es la presencia del *Eichhornia crassipes*.

La metodología de investigación cuantitativa utilizó el simulador de sistemas complejos 2DCAvN (9) con el objeto de conocer el comportamiento de la reproducción del *Eichhornia crassipes* en la Laguna de Tecocomulco. Este software fue desarrollado en el Laboratorio de *Artificial Life Robotics Laby* en el Laboratorio Internacional de Ciencias de la Computación del Instituto Politécnico Nacional (IPN), el cual se encuentra disponible de forma gratuita en el laboratorio (ALIROB).

Para realizar la simulación se recopiló información en el sitio de prueba (un área definida de 100 m²), como son la temperatura, cantidad de nutrientes, cantidad reproducida del *Eichhornia crassipes*, su crecimiento y dispersión, con mediciones frecuentes durante 7 días donde fue posible observar un comportamiento biológico complejo. Los resultados obtenidos de la simulación de acuerdo con el contenido de metales pesados en los nutrientes tuvieron como resultado una trayectoria 90% similar a la monitoreada en campo. Este mismo modelo podría ser útil para conocer la proliferación indiscriminada del tule (*Typha domingensis Pers*) que afecta de manera negativa el paisaje, con el fin de poder predecir, controlar y dirigir esfuerzos factibles para su remediación.

Para la recuperación y conservación del paisaje de humedales naturales se propuso un Modelo de Acciones de Socioecogestión, de manera que lleven a cabo acciones tradicionales como reforestación, control de la calidad del agua, control del nivel de nutrientes de los sedimentos, drenes, etcétera, junto con actividades de desarrollo científico existentes y acciones de turismo regenerativo, contribuidores importantes para la recuperación natural del paisaje. Es importante señalar que, la laguna tiene actores antrópicos que aportan sedimentos importantes como son las infiltraciones provenientes de salidas de aguas de comunidades cercanas como son Sarabia, Tezoaya, Alcantarillas Mazoatepec, Tres Cabezas, entre otras (Huizar *et al.*, 2005).

De las investigaciones con especialistas en el tratamiento y reducción de sedimentos en la laguna (Huizar *et al.*, 2005), el Dr. Rafael Huizar (Julio, 2018) en entrevista aportó opciones de

reducción, como la ejecución de trabajos de drenaje fuera de la laguna, lo cual ya existe, esto con el objetivo de mitigar el crecimiento del *Eichhornia crassipes*. Otra propuesta para su control y evitar su proliferación consiste en utilizar métodos de control biológicos desarrollados por científicos (Guevara y Ramírez 2015 y Aguilar *et al.*, 2016). La más viable y por ende recomendada para llevar a cabo, es la inserción de dos especies de insectos o gorgojos (*Neochetina bruchi* y *N. Eichhorniae*) conocidos como neoquetinos; esta consiste en colocar seis neoquetinos, tres de cada especie en el tallo del *Eichhornia crassipes* para que se alimente de él. Estos neoquetinos tienen una vida de 30 días y mueren en la planta, al lograr un control en su reproducción (Aguilar *et al.*, 2016). Por otro lado, para disminuir el crecimiento del tule se propone un control biológico por medio de la inserción de hongo del género *Saccharicola* sp., el cual actúa como patógeno del tule (*Typha domingensis Pers*) ocasionándole lesiones necróticas y posterior eliminación.

Estas opciones de control biológico han sido probadas con éxito en otros sitios de la República Mexicana (como Sinaloa, Sonora, Michoacán y Puebla) que tienen condiciones de temperatura diversas y similares al sitio de estudio. En estos lugares se aplicó el control del *Eichhornia crassipes* por medio de los insectos neoquetinos durante un periodo menor a un año, resultando en una eficiencia reductiva del 90% del *Eichhornia crassipes* (Camarena y Aguilar 2012), lo que permite asegurar el control de la maleza acuática y, por ende, la recuperación y control del paisaje de la laguna. Con respecto al control biológico del tule (*Typha domingensis Pers*) por medio de hongos en Culiacán Sinaloa, los resultados arrojaron una reducción en la densidad de 69 plantas por m² a 10 plantas por m² en un periodo menor de un año (Camarena y Aguilar 2012).

Aunque en esta investigación no fue posible aplicar los controles biológicos del *Eichhornia crassipes* y el tule (*Typha domingensis Pers*), es posible hacer un pronóstico de 90% a 95% de recuperación y conservación del paisaje de la Laguna de Tecocomulco, esto por medio de la inferencia a través de simulaciones y datos de investigaciones realizadas (Camarena y Aguilar 2012). El éxito radica no solo en la aplicación de la metodología, sino en el constante seguimiento y mantenimiento de los insectos neoquetinos.

En otro contexto, se puede mencionar el aporte que la investigación mixta aportó, desde resultados cuantitativos, cualitativos y acciones de Socioecogestión mencionadas previamente, esto con el objetivo de ayudar en la recuperación y conservación del paisaje de la Laguna, donde

participan diversos actores como la comunidad, científicos, investigaciones, gobierno y visitantes en actividades regenerativas en la Laguna de Tecocomulco.

Diversos estudios de recuperación y conservación de ecosistemas se han realizado, pero solo 2 estudios (Zaldívar *et al.*, 2017 y Evans 2018) abordan cinco de las seis dimensiones propuestas en este trabajo, como son; Ecológica y/o Ambiental, Social, Gestión, Gobernanza, Monitoreo y Remediación faltando la dimensión de Turismo Regenerativo. Esta última dimensión es la potencialización de las acciones regenerativas a través de visitantes, propuesta del Modelo de Acciones de Socioecogestión, siendo parte fundamental, la recuperación acelerada del capital natural.

A pesar de no haber realizado en la laguna la aplicación del control biológico, las actividades de socioecogestión, centradas en el turismo regenerativo, se realizaron experimentalmente para evaluar su involucramiento, conservación y recuperación del paisaje del humedal citado. De este modo se llevó a cabo un experimento en la Laguna de Tecocomulco que permitió evaluar el grado de aceptación empírica de actividades regenerativas a través de encuestas sobre el nivel de percepción de los visitantes y/o turistas. Se hicieron caminatas y/o senderismo acuático para realizar acciones de limpieza manual de *Eichhornia crassipes* dentro de la laguna por visitantes y/o turistas de forma piloto. Previamente antes del recorrido, se les explicó y convenció de la importancia de la actividad del retiro del *Eichhornia crassipes* y se les preguntó si estarían dispuestos a volver y repetir la experiencia, a lo que el 90% respondió que estarían dispuestos a repetirla y el 80% de los encuestados les pareció una actividad muy atractiva.

La recuperación y conservación del paisaje del humedal es una de las actividades de turismo regenerativo que permite al participante encontrarse y realizar actividades en pro de la naturaleza y tiene una gran cantidad de seguidores que desean realizar este tipo de actividades, tal como lo muestra un estudio entre usuarios de Facebook (agosto 2018) con una participación de alrededor de cinco millones de usuarios, de los cuales, el 40% estaría dispuesto a realizar actividades de turismo alternativo y/o regenerativo, con lo cual es evidente el potencial de este tipo de actividad. Cabe recordar que el turismo alternativo tiene entre sus ramas al ecoturismo, y, en consecuencia, al turismo regenerativo, estas actividades están latentes en la sociedad actual.

CONCLUSIONES

Esta investigación presentó un Modelo de Acciones de Socioecogestión como una aportación adicional a las metodologías de recuperación y conservación de paisajes de manera integral existentes, resaltando la propuesta de utilizar el turismo regenerativo en la recuperación y conservación de los ecosistemas involucrados.

Entre los factores encontrados que afectan al paisaje del humedal están la contaminación natural por maleza acuática de tule y lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), comprobándose mediante las encuestas de percepción aplicadas y las entrevistas a expertos.

Uno de los aportes del Modelo de acciones de Socioecogestión para la recuperación del paisaje es el uso de modelos de sistemas complejos por medio del sistema 2DCAvN (9), el cual permitió simular el comportamiento de la trayectoria de reproducción del *Eichornia crassipes* aproximándose su reproducción a un 90% de la realidad. De esta manera es posible maximizar el control del *Eichornia crassipes*, retirándolo de los lugares que tienen una mayor cantidad de nutrientes en sus sedimentos y con ello recuperar el humedal, mitigando su impacto en el incremento del calentamiento global.

El modelo de acciones de Socioecogestión permitió realizar la vinculación entre los desarrollos científicos como los mecanismos de remediación natural del *Eichornia crassipes* con la gestión de nequetinos y el tule (*Typha domingensis* Pers) con la gestión de los hongos que la comunidad está gestionando a través de un plan en todos sus niveles, de forma integral y consistente.

La recuperación y conservación del paisaje del humedal dentro de esta investigación tiene un aspecto social y económico en la comunidad local a través de las actividades promovidas por el modelo de acciones de socioecogestión, entre las cuales estuvieron la sensibilización con la comunidad usando el turismo regenerativo que permitió a través de los visitantes ser una opción más de recuperación acelerada de La Laguna utilizando medios de remediación natural.

Investigaciones de recuperación y conservación del paisaje de humedales continentales naturales aún no tienen algún precedente desde la óptica desarrollada en esta investigación, como la relación directa entre desarrollos científicos, turismo regenerativo, medios de remediación, comunidades y autoridades. Por tanto, es una aportación interesante a las metodologías de recuperación y conservación del paisaje de los humedales en peligro de extinción o simplemente mantenerlos por la importancia que tienen los ecosistemas existentes.

Cabe mencionar que el Modelo de Acciones de Socioecogestión propuesto, está aplicándose actualmente para la recuperación y conservación del cangrejo azul (*Cardisoma crassum*) en el Pueblo Mágico de Mazunte, Oaxaca, México.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agardy, T., Alder, J., Dayton, P., Curran, S., Kit-chingman, A., Wilson, M., Vörösmarty, C. (2005). "Coastal systems", *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. London: Island Press.
- Aguilar, J., Camarena, O., Vega, R., Bojórquez, G., J. C., y González, A. (2016). Seguimiento al control biológico de lirio acuático y transferencia de tecnología en el distrito de riego 010. Culiacán, Sinaloa, México: s/e.
- Arceo, D., Gamboa, E., Teutli, C., Badillo, M., y Herrera, J. (2016). Los peces como indicador de restauración de áreas de manglar en la costa norte de Yucatán. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(2), 489-496.
- Berlanga, C., Ruiz, A., y De Lanza, G. (2008). Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas*, 66, 25-46.
- Bonn. (2018). *La urgencia y la propuesta para que mundo avance hacia paisajes sostenibles*. CIFOR.
- Calva, K., y Pavón, N. (2018). La restauración ecológica en México: una disciplina emergente en un país deteriorado. *Madera y Bosques*, 24 (1), 1-11.
- Camacho-Ballesteros, S. (2016). La restauración ecológica participativa: Una visión juvenil desde el territorio de Ciudad Bolívar. *Revista Electrónica, Educare*, 20(2).
- Camarena, O., y Aguilar, J. (2012). El IMTA y el control biológico de maleza acuática en distritos de riego del país. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Caso, M., Arendar, P., y Santos del Prado, K. (2016). *Adaptación en humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático*. Ciudad de México: INECC.
- Comisión de Cuenca de la Laguna de Tecocomulco, A.C. (2007). Informe Anual. Disponible en: http://www.conagua.gob.mx/DLHgo07/contenido/Documentos/Informe_Anuual_CCLT_2007.pdf. [consultada 31 enero 2011].

- Cuesta, R., y Gumbricht, T. (2018). *Caracterización de la degradación de los pantanos de palmeras turbosos desde el espacio y sobre el terreno: Un estudio exploratorio en la Amazonía peruana*. CIFOR.
- Evans, K. (2018). Restauración: El componente local es clave para plantar árboles (y mantenerlos con vida). Obtenido de <https://forestsnews.cifor.org/55946/restauracion-el-componente-local-es-clave-para-plantar-arboles-y-mantenerlos-con-vida?fnl=es>
- Fernández, E., García, M., y Villarroja, F. (2005). Propuesta de una clasificación de humedales para ser restaurados mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos: Aplicación al complejo de humedales de Coca-Olmedo (Segovia). *Revista de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente*, 3.
- Fernández-Méndez, F., Velasco-Salcedo, V. M., Guerrero-Contecha, J., Galvis, M., y Viana Neri, A. (2016). Recuperación ecológica de áreas afectadas por un incendio forestal en la microcuenca Tintales (Boyacá, Colombia). *Colombia Forestal*, 19(2), 143-160.
- González, M., Plascencia, O., y Martínez, T. (2016). Áreas prioritarias para restauración ecológica y sitios de referencia en la región Chignahuapan-Zacatlán. *Madera y Bosques*, 22(2), 41-52.
- Guevara, M., y Ramírez, L. (2015). *Eichhornia crassipes*, su invasividad y potencial fitorremediador. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 22(2), 5-11.
- Gumbricht, T., Roman-Cuesta, R., Verchot, L., Herold, M., Wittmann, F., Householder, E., Murdiyarsa, D. (2017). An expert system model for mapping tropical wetlands and peatlands reveals South America as the largest contributor. *Global Change Biology*, 23, 3581-3599.
- Hergoualc'h, K., Gutierrez, V., Mentón, M., y Verchot, L. (2018). Caracterización de la degradación de los pantanos de palmeras turbosos desde el espacio y sobre el terreno: Un estudio exploratorio en la Amazonía peruana. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed.). México: McGraw-Hill.
- Huizar Alvarez, R., Jiménez Fernández, E., y Juárez López, C. (2005). *La Laguna de Tecocomulco: geo-ecología de un desastre*. México D. F.: UNAM, Instituto de Geología.

- Lot, A. (2005). Vegetación Acuática de la Laguna de Tecocomulco. En: Quiroz, A., Ramírez, P., Lot. A. (2014). Variación anual de la biomasa de Nymphoides Fallax Ornduff (Menyanthaceae) en la laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México. Polibotánica. 37.
- Kemper, K. (2018). *Practical Global de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Banco Mundial*. s/e.
- Mohedano, F. (2020). *Diseño de un Modelo de acciones de Socioecogestión para la Recuperación y Conservación del Paisaje de Humedales Continentales Naturales, caso: Laguna de Tecocomulco Hidalgo, México. Tesis de Doctorado en Conservación y Restauración del Medio natural*. Zitácuaro, Michoacán, México: Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores.
- Morris, J. (2018). *Communities Restoring Landscapes: Stories of Resilience (Comunidades que restauran paisajes: historias de resiliencia)*, *Land Scapes News del Global Landscapes Forum*. Indonesia: Centro de Investigación Forestal Internacional (CIFOR).
- Niño, M, y Lot A. (1983). Estudio demográfico del lirio acuático eichhornia crassipes (Mart) Solms: Dinámica de crecimiento en dos localidades selectas de México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 45: 71-83.
- Niño, V. (2011). *Metodología de la investigación. Diseño y Ejecución*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- ONU (2019). <https://www.un.org › global-issues › climate-change>
- Quiroz, A., Ramírez, P., Lot. A. (2014). Variación anual de la biomasa de Nymphoides Fallax Ornduff (Menyanthaceae) en la laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México. Polibotánica. 37.
- Ramsay, D. (2017). COP23: El Acuerdo de París necesita a las turberas. Obtenido de <https://forestsnews.cifor.org/53002/cop23-el-acuerdo-de-paris-necesita-a-las-turberas?fnl=es>
- Romanelli, A., y Massone, H. (2016). Desarrollo de indicadores ambientales e índice de calidad de lagos someros pampeanos de Argentina con alta intervención antrópica. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(6), 123-137.

- Royal C. Gardner y C. Max Finlayson. (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas 2018*. Ramsar.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2018). *Actualización sobre el estado de los sitios de la Lista de Humedales de Importancia Internacional. Doc. SC54-19*. Obtenido de https://www.ramsar.org/%20sites/default/files/documents/library/sc54-19_status_ramsar_list_s.pdf.
- Semarnat. (2014), Obtenido de <https://semarn.blogspot.com/2014>
- Schweizwer, D., Meli, P., Bracallion, P., y Guariguata, M. (2018). *Home*. Indonesia: CIFOR. Centro para la Investigación Forestal Internacional.
- UICN y WRI. (2014). Guía sobre la Metodología de evaluación de oportunidades de restauración (ROAM): Evaluación de las oportunidades de restauración del paisaje forestal a nivel nacional o subnacional. Gland, Suiza: UICN.
- United Nations Development Programme in Climate Adaption. (2016). Ecosistemas en Azerbaiyán. Comunidades locales aprenden a restaurar y proteger sus tierras. Obtenido de United Nations Development Programme: <https://stories.undp.org/aprendiendo-a-restaurar-y-proteger-las-tierras-agricolas-de-azerbaiyan>.
- Yilmaz, K. (2013). Comparison of Quantitative and Qualitative Research Traditions: Epistemological, Theoretical and Methodological Differences. *European Journal of Education*, 48 (2), 311-325.
- Zaldívar, A., Ladrón-de-Guevara, P., Pérez, R., Díaz, S., y Rosado, R. (2017). US-México joint Gulf of México large marine ecosystem-based assessment and management: Experience in community involvement and mangrove wetland restoration in Terminus lagoon, México. *Environmental Development*, 22, 206-213.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.