

Perspectivas sobre la gestión sostenible del agua y los humedales en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, México

Tatiana Lobato de Magalhães
Marinus L. Otte
Mahinda Martínez
José Emiliano Plata Ramos
Alejandra Leticia Rocha Mier
Itzel Sofía Rivas Padrón



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

RESERVA DE LA BIOSFERA SIERRA GORDA



Guanajuato

PINAL DE AMOLES

PEÑAMILLER

Querétaro

Imagen de satélite © 2022 TerraMetrics.
Datos del mapa © 2022 INEGI.
Créditos de Paulá A. Montoya Lopera

30 Km



an Luis Potosí

Carrizal de los Durán

810 msnm

El Pocito

1145 msnm



Río Santa María

JALPAN DE SERRA

Presa de Jalpan

LANDA DE MATAMOROS

Río Verdito

1188 msnm

del Maíz

Río Moctezuma

Hidalgo

LEYENDA



Cabecera Municipal



Localidad visitada



Reserva de la Biosfera



Drenajes



**Perspectivas sobre la gestión
sostenible del agua y los humedales
en la Reserva de la Biosfera
Sierra Gorda, México**

2022

Primera edición: 2022

Lobato-de Magalhães, Tatiana

Perspectivas sobre la gestión sostenible del agua y los humedales en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, México / Tatiana Lobato de Magalhães, Marinus L. Otte, Mahinda Martínez, José Emiliano Plata Ramos, Alejandra Leticia Rocha Mier, Itzel Sofía Rivas Padrón. Querétaro, México : UAQ, 2022.

120 p. : fots. ; 17 x 23 cm

ISBN 978-607-513-640-0

1. Ciencias Naturales 2. Ecología 3. Manejo del agua y humedales I. Otte, Marinus L. II. Martínez, Mahinda. III. Otros. IV. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro. México

CDD 577.68 CDU 574.5

DRA. MARGARITA TERESA DE JESÚS GARCÍA GASCA

RECTORA

DR. JAVIER ÁVILA MORALES

SECRETARIO ACADÉMICO

DR. JOSÉ GUADALUPE GÓMEZ SOTO

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

DIANA RODRÍGUEZ

DIRECTORA DEL FONDO EDITORIAL UNIVERSITARIO

FEDERICO DE LA VEGA

EDITOR

D.R. © 2022 de los autores

D.R. © 2022 Universidad Autónoma de Querétaro

Cerro de las Campanas s/n

Centro Universitario, 76010

Santiago de Querétaro, México

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, sea cual fuere el medio, sin la anuencia por escrito del titular de los derechos.

ISBN: 978-607-513-640-0

Perspectivas sobre la gestión sostenible del agua y los humedales en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, México

Tatiana Lobato de Magalhães
Marinus L. Otte
Mahinda Martínez
José Emiliano Plata Ramos
Alejandra Leticia Rocha Mier
Itzel Sofía Rivas Padrón



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO



Presajalpan, Sitio Ramsar del estado de Querétaro,
importante para las aves migratorias y el abastecimiento de agua

ÍNDICE

<u>AGRADECIMIENTOS</u>	11
<u>PREÁMBULO</u>	13
<u>INTRODUCCIÓN</u>	17

ANTECEDENTES

<u>Reserva de la Biosfera Sierra Gorda</u>	21
<u>Comunidades</u>	22
<u>¿Por qué humedales?</u>	26

ENFOQUE DEL PROYECTO

<u>Expedición de ocho días</u>	35
<u>Ponencias, material didáctico y dibujos</u>	38
<u>Actividades de grupo</u>	42
<u>Visitas a comunidades, lagos, manantiales y sistemas de tratamiento de agua</u>	43
<u>Historias contadas</u>	43
<u>Encuestas</u>	44
<u>Obstáculos</u>	45

AMENAZAS AL AGUA Y LOS HUMEDALES

<u>Cambio climático y global</u>	53
<u>Requerimientos del agua y contaminación</u>	55
<u>Degradación y destrucción de humedales</u>	56
<u>Deforestación y sus efectos en el agua y los humedales</u>	57
<u>Especies invasoras</u>	57

OPORTUNIDADES

<u>Manejo de cuencas</u>	61
<u>Conservación de manantiales</u>	67
<u>Estanques naturales y artificiales</u>	73
<u>Construcción de humedales</u>	78
<u>Métodos para recolectar agua</u>	83
<u>Biodiversidad</u>	89
<u>Promover el bienestar y crear conciencia</u>	94
<u>Ciencia ciudadana</u>	95
<u>Oportunidades y necesidades laborales</u>	99
<u>Posibles acciones para mitigar las amenazas</u>	101
<u>CONCLUSIONES</u>	111
<u>LITERATURA RECOMENDADA</u>	113

AGRADECIMIENTOS

Este libro es el resultado del trabajo colaborativo de científicos, empleados y estudiantes de la Universidad Autónoma de Querétaro y la Universidad Estatal de Dakota del Norte a través del Programa Fulbright Specialist.

Agradecemos a Margarita Teresa de Jesús García Gasca, José Guadalupe Gómez Soto, Paulina Viridiana Becerril Luna, Mónica Elisa Queijeiro Bolaños, Chacal Tanelorn, Cristian Eduardo Rodríguez Jacinto, Lizeth Harzbecher, Miguel Sarmiento, Gloria María Rodríguez Pérez, Janeth Del Hoyo Vargas, Adriana Martínez Hernández, Michel Astrid Ramos González, Mitzi Korima Sotelo Gaspar, Armida Monserrat Rojas Hernández, así como a las personas de las comunidades y a los representantes del gobierno y de la sociedad civil por su motivación, apoyo y participación.

También agradecemos el apoyo financiero brindado por el Fondo para el Desarrollo del Conocimiento (FONDEC-UAQ-Modalidad Vinculación-2021), el Programa de Especialistas Fulbright (FSP-P006854), la Comisión México-Estados Unidos para el Intercambio Educativo y Cultural (COMEXUS) y el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ-20101436).

Agradecemos a Jessica Daniela Ramírez Santana y Saraí Melina Parra Hernández por dibujar las figuras 11, 12, 13 y 15; Paula A. Montoya Lopera por el mapa; y a Angela Fellowes, Débora O. Lobato, Brent Murry y Juan Pablo Ramírez Herrejón por sus comentarios y sugerencias para mejorar el libro. Las fotos de este libro fueron tomadas por José Emiliano Plata Ramos (a menos que se indique lo contrario).



Cascada cerca de El Tepozán,
Arroyo Seco

PREÁMBULO

Es urgente desarrollar estrategias sustentables que permitan garantizar la seguridad hídrica para mantener las funciones y servicios de los ecosistemas de agua dulce, reduciendo los riesgos relacionados con el agua utilizada por los humanos, pero de manera que se pueda conservar la biodiversidad y la abundancia de la biota acuática. Las tasas de pérdida y degradación de los humedales son alarmantemente altas, sobre todo en los humedales continentales que enfrentan sequías prolongadas. A través del Proyecto Fulbright Specialist “*Water management in a karstic rural impoverished environment, FSP-P006854*” se realizó una expedición a la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda en el estado de Querétaro en colaboración con representantes del gobierno, comunidades, sociedades civiles y organizaciones no gubernamentales, así como con estudiantes, profesionales y científicos de dos instituciones académicas involucradas: la Universidad Estatal de Dakota del Norte en Fargo, Estados Unidos y la Universidad Autónoma de Querétaro en Querétaro, México.

Este libro es producto de ese proyecto y tiene como objetivo establecer un “diálogo sobre el agua” con las personas de la región. Los temas aquí tratados sobre el manejo del agua y los humedales en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda son ahora más importantes que nunca, ya que demuestran cómo la conservación, el manejo sustentable, la creación y la restauración de los humedales son fundamentales para lograr un futuro más próspero y sustentable tanto para las personas como para su entorno.

En esta publicación se hace énfasis en que los humedales pueden contribuir al manejo sustentable del agua y se identifican prácticas potenciales para su implementación en la Sierra Gorda. Incluye una descripción completa de las metodologías que utilizamos en este proyecto.

El conocimiento sobre cómo y dónde restaurar y crear humedales es esencial para mejorar la gestión sustentable del agua de manera que se mantengan los servicios y funciones ecológicas sin degradar el hábitat de la vida silvestre, lo que permitirá el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico. La metodología empleada en este proyecto se puede replicar en otras regiones con características similares y que tengan problemas relacionados con el agua.

Finalmente, este libro no es un ejercicio único, sino que pretende ser un punto de partida para la colaboración continua en la investigación, la enseñanza y la divulgación de los humedales por parte de científicos de ambas instituciones: la Universidad Autónoma de Querétaro y la Universidad Estatal de Dakota del Norte.



Misión de Jalpan de Serra



Agua de la Sierra Gorda



Vista desde el proyecto ecoturístico "El Edén", Pinal de Amoles

INTRODUCCIÓN

Este libro es el resultado del trabajo realizado por un equipo de estudiantes, profesionales y profesores de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y la Universidad Estatal de Dakota del Norte (NDSU) como parte del Programa Fulbright Specialist. En un período de ocho días se recolectó información de primera mano sobre el uso y manejo del agua en varias comunidades de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda; la base de la expedición fue el municipio de Jalpan de Serra.

El agua superficial y los humedales en esta región son escasos y están cada vez más amenazados por el cambio de uso de suelo, la expansión urbana y agrícola, así como las especies invasoras. Adicionalmente, la extracción de aguas subterráneas, la contaminación y las prácticas agrícolas no sustentables, como el riego por inundación, son preocupaciones importantes. Asimismo, la disponibilidad intermitente de agua y los suelos porosos complican la gestión sustentable del agua en esta región. El problema se agrava aún más por el hecho de que la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda es un área económicamente marginal desde la cual los habitantes migran a otras regiones dentro o fuera de México.

Desde 2012, la Coordinación de Educación y Apoyo Comunitario de la Universidad Autónoma de Querétaro (CEACOM-UAQ) trabaja en tres líneas estratégicas de desarrollo: escasez de agua, soberanía alimentaria y vivienda digna. Específicamente, esta coordinación ha estado trabajando en la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia para almacenar agua en comunidades rurales en la parte alta de la Sierra Gorda. La UAQ tiene una interacción prolongada con las comunidades rurales de la Sierra Gorda, una gran ventaja que permitió lograr buenos resultados en el corto período de la expedición. En este proyecto estuvieron involucradas las comunidades de Carrizal de los Durán y El Pocito en Jalpan de Serra, Cuatro Palos y Rancho Nuevo II (Proyecto

Ecoturístico “El Edén”) en Pinal de Amoles y El Tepozán en Arroyo Seco. Estas comunidades cuentan con alrededor de 109 sistemas de captación de agua de lluvia en funcionamiento como fuente principal de agua, los cuales fueron construidos con la intervención de la CEACOM-UAQ en colaboración con Cáritas de Querétaro I.A.P., el Cuerpo de Paz y el ingeniero José Castro Orvañanos. En Cuatro Palos y El Tepozán la captación de agua de lluvia complementa el agua recibida por un sistema de tuberías implementado por la Comisión Estatal de Aguas (CEA); sin embargo, estos sistemas se interrumpen con frecuencia debido a problemas de gestión. Por su parte, en Carrizal de los Durán una de las principales fuentes de agua son los manantiales.

Durante la expedición se recorrieron otras comunidades del municipio de Landa de Matamoros que enfrentan problemas graves de tratamiento de aguas residuales y tenían preguntas específicas relativas al manejo del agua, entre ellas la comunidad de Río Verdito. Se visitó también un proyecto de restauración forestal cerca de Jalpan de Serra clave para la captación de agua liderado por Patricia Ruiz Corzo (directora del Grupo Ecológico Sierra Gorda I.A.P.) y ubicado en una propiedad privada en la comunidad de Agua del Maíz, Pinal de de Amoles.



Ciprés mexicano (*Taxodium* spp.),
vegetación riparia del río Santa María, Arroyo Seco



Cascada cerca de Pinal de Amoles

ANTECEDENTES

Reserva de la Biosfera Sierra Gorda

La Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, en el estado de Querétaro, México, está situada en un ambiente predominantemente semiárido con geología kárstica en elevaciones que van de 350 a 3,160 m s.n.m. y precipitaciones que oscilan entre 350 y 2,000 mm por año. Esta región montañosa forma parte de la Sierra Madre Oriental, desciende hacia el Golfo de México, tiene relieve de origen sedimentario constituido por secuencias mesozoicas marinas y depósitos epimetamórficos volcano-sedimentarios que soportan en discordancia angular las formaciones marinas. Se ubica al norte del estado y está delimitada al oeste por la planicie de Guanajuato, al norte y noreste por la región Huasteca de San Luis Potosí, al este por la Sierra de Hidalgo y parte del Valle del Mezquital, y al sur por el Semidesierto Queretano. Establecida como reserva el 5 de mayo de 1997, se trata de un área natural protegida que alberga miles de especies de plantas y animales, algunas de ellas protegidas y otras en peligro de extinción. Actualmente es administrada por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). La Reserva de la Biosfera Sierra Gorda tiene 383,567 hectáreas, 70% de las cuales son propiedad privada, 27% áreas ejidales y 3% áreas federales, representando el 32% del estado de Querétaro, con al menos 100,000 habitantes y 638 comunidades en cinco municipios (*i.e.*, Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Landa de Matamoros, Peñamiller y Pinal de Amoles). El poblado principal de la zona es Jalpan de Serra (21°13'05.2" N, 99°28'26.6" O, 760 m s.n.m.).

Esta región alberga varios tipos de vegetación, como bosques de pino y encino de alta elevación, bosques tropicales de baja altitud, bosques húmedos de montaña y una gran diversidad de cactáceas. Los bosques de galería de ríos y arroyos están protegidos por sabinos, sauces y álamos. Los bosques de niebla se encuentran a mayores elevaciones, son

“islas” en una neblina casi permanente. Las mayores elevaciones están cubiertas de bosques templados de encinos, abetos, pinos, cedros y enebros. La Reserva de la Biosfera Sierra Gorda es una región muy rica en especies, la cual alberga mariposas (800 especies), aves (342), reptiles y anfibios (131), hongos (127), mamíferos (110), peces (27) y una población clave de *Ara militaris*, la guacamaya verde, como es conocida en México. Hidrológicamente, la reserva pertenece a la cuenca del río Pánuco y forma dos subcuencas principales: la Moctezuma y la Tamuín, mientras que sus principales ríos son el Extoraz, el Escanela-Jalpan y el Santa María. Además de su diversidad ambiental, la Sierra Gorda culturalmente cuenta con cinco misiones franciscanas declaradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 2003.

Comunidades

Se realizaron talleres en cinco comunidades: Carrizal de los Durán y El Pocito en Jalpan de Serra, Cuatro Palos y Rancho Nuevo II (Proyecto Ecoturístico “El Edén”) en Pinal de Amoles y El Tepozán en Arroyo Seco, todas ubicadas en el estado de Querétaro. La información referente a las comunidades y municipios se presenta en la Tabla 1.

En la localidad de Concá, en Arroyo Seco, las actividades fueron conferencias dirigidas a la población estudiantil universitaria, profesores y representantes del gobierno. En Jalpan de Serra y Landa de Matamoros, junto con representantes del gobierno, se visitaron estaciones de tratamiento de agua y algunos puntos críticos de contaminación de ríos y arroyos.

Arroyo Seco. Concá es una localidad ubicada aproximadamente a 20 km de la cabecera municipal de Arroyo Seco a 508 m s.n.m. En Concá, 26 personas hablan una lengua indígena (pame y teenek). Adicionalmente, en el municipio de Arroyo Seco se encuentra la comunidad de El Tepozán a 1,820 m s.n.m.; de los 103 adultos en esta localidad, 24 de ellos son mayores de 60 años.

Jalpan de Serra. Este municipio está ubicado en el norte del estado de Querétaro. Limita al norte con el estado de San Luis Potosí y al sur con los municipios de Pinal de Amoles y San Joaquín, así como con parte del estado de Hidalgo. Limita al este con Landa de Matamoros, que es el municipio con la segunda extensión territorial más importante dentro de Querétaro. En Jalpan de Serra se trabajó con dos comunidades: Carrizal de los Durán y El Pocito.

Pinal de Amoles. La comunidad de Cuatro Palos, municipio de Pinal de Amoles, está ubicada en uno de los puntos más altos de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda. Cerca de la cumbre del cerro de la Media Luna, a 2,727 m s.n.m., existe un mirador con una vista panorámica de los increíbles paisajes de la región en varias direcciones. Atrae a turistas, lo que figura como la principal actividad económica de la comunidad. Próximo a Cuatro Palos se encuentra "El Edén", un proyecto ecoturístico ubicado en la comunidad de Rancho Nuevo II.



Presa Jalpan, Sitio Ramsar, Jalpan de Serra

Tabla 1. Estadísticas de población y vivienda de las comunidades y municipios involucrados en el proyecto

Comunidad	Total de casas de casas privadas	Casas con piso con piso de tierra	Casas con sanitario	Casas conectadas a red de agua pública	Población total	Adultos	Menores	Hombres	Mujeres
Carrizal de los Durán	21	—	11	0	89	40	49	43	46
Cuatro Palos	32	31	11	3	142	67	75	70	72
El Pocito	29	—	—	—	113	65	48	63	50
Rancho Nuevo II El Edén	15	—	—	—	—	87	—	46	41
El Tepezán	43	34	11	—	201	103	98	101	100
Municipio/localidad	Total de casas privadas	Casas con piso con piso de tierra	Casas con sanitario	Casas conectadas a red de agua pública	Población total	Adultos	Menores	Hombres	Mujeres
Concá, Arroyo Seco	275	—	248	262	1076	631	445	511	565
Jalpan de Serra	—	—	—	—	22,025	—	—	10,489	11,536
Landa de Matamoros	4,332	982	3,537	2,295	18,905	—	—	8,927	9,978

Infraestructura para el agua en las comunidades

En las comunidades de Cuatro Palos y El Tepozán existe infraestructura para el abastecimiento de agua proporcionada por la Comisión Estatal de Aguas (CEA). Sin embargo, los sistemas sufren problemas frecuentes, como que las bombas se rompen o se queman, y la escasez de agua durante las sequías es un desafío en ambos lugares. Hace unas décadas, antes de la instalación de los sistemas de cosecha de lluvia, la gente no tenía provisión adicional de agua, ni siquiera en la temporada de lluvias, porque no había formas de capturarla y almacenarla. Carrizal de los Durán y El Pocito son dos comunidades vecinas que no cuentan con el servicio de agua potable de la CEA, pero se abastecen mediante manantiales. En Carrizal de los Durán hay uno con agua a lo largo del año y en El Pocito otro muy pequeño. Antes de la instalación de los sistemas de captación de agua de lluvia, los pobladores de El Pocito debían acarrear el agua todo el año, incluso en época de lluvias, desde un manantial o pozo cercano, a pie o con la ayuda de un animal de carga. Otra opción para obtener agua en El Pocito es comprándola en camiones con una capacidad de 1,500 litros. Los habitantes de Carrizal de los Durán instalaron sistemas para la distribución de agua de un manantial. De este modo, las casas en elevaciones más bajas reciben agua por gravedad, pero aquellas en las alturas necesitan utilizar alternativas para obtenerla, como bombas o acarreo manual. En conclusión, éstas son las características de las comunidades:

- ✿ Todas menos Cuatro Palos tienen una pirámide de edades donde se refleja una disminución de infantes y jóvenes, frente a la de adultos, por lo que las poblaciones van en declive.
- ✿ Uno de los factores que benefician a Cuatro Palos es su ubicación paisajística y un mirador que atrae visitantes, lo que a su vez trae beneficios económicos. El desarrollo del ecoturismo dentro y alrededor de la comunidad estimulará aún más la estabilidad económica sustentable si es bien manejado.

- ✦ Existen condiciones sanitarias desafiantes como la falta de tratamiento de aguas residuales y el suministro de agua limpia.
- ✦ Se utilizan sistemas de captación de agua de lluvia: hay cuatro funcionales en Carrizal de los Durán, 29 en Cuatro Palos, 35 en El Pocito y 41 en El Tepozán.

¿Por qué humedales?

Los humedales son muy comunes en nuestro entorno. Son los manantiales, estanques, lagos, pantanos, ciénagas y las llanuras aluviales a lo largo de los ríos que albergan una vegetación exuberante y animales. Las aves y los mamíferos se alimentan de las plantas, los peces que viven en el agua y miles de insectos. Los humedales pueden estar en su mayoría cubiertos de hierba o albergar árboles majestuosos como el ahuehuate o sabino. Se caracterizan por tener aguas estancadas o corrientes poco profundas; estos pueden estar secos por largos periodos; sin embargo, las plantas y animales propios de estos ecosistemas dependen del agua en alguna época para su reproducción.

Los humedales son la parte más importante del ciclo del agua porque la limpian. Son los riñones de la Tierra. Los contaminantes que recorren los arroyos pasan a través de los humedales y son degradados por bacterias y hongos o quedan atrapados en el suelo, donde pueden ser absorbidos por las plantas. Los humedales son tan buenos para eliminar los contaminantes del agua que se están construyendo con ese fin en todo el mundo. Son baratos de construir y mantener, y eficientes en la eliminación de una gama amplia de contaminantes comparados con los métodos mecánicos o químicos.

Además de proporcionar un hogar para las plantas y los animales, así como de limpiar nuestra agua, los humedales brindan otros beneficios a los humanos: los servicios ecosistémicos. Almacenan agua durante períodos de alta precipitación y la liberan durante los de sequía, lo cual significa que no solo evitan las inundaciones y la destrucción de casas



Antigua iglesia de Cuatro Palos
envuelta en niebla, Pinal de Amoles

y caminos, sino que también hacen posible el cultivo de alimentos durante los períodos en que las lluvias no llegan a tiempo. Los humedales proveen alimentos para las personas, en forma de peces, pájaros, ranas y plantas comestibles, como la espinaca de agua y el arroz. Proporcionan materiales de construcción, como madera y cañas para los techos de paja. En todo el mundo, particularmente a lo largo de las costas y las orillas de los grandes lagos y ríos, se pueden encontrar comunidades que dependen completamente de los humedales para su alimentación, abastecimiento de agua y sustento.

A pesar de su gran utilización, los humedales están siendo destruidos a nivel global. Se estima que se ha perdido el 80% de ellos durante los últimos tres siglos, en especial como consecuencia de la agricultura y el desarrollo de las ciudades. Esto se debe en parte a que varios humedales se encuentran a lo largo de los ríos donde se construyen las comunidades, pero también porque su valor no se ha reconocido adecuadamente. A medida de que los humanos empezaron a entender más sobre su importancia, han iniciado esfuerzos serios para restaurar aquellos dañados e incluso construir otros nuevos. La humanidad debe cuidar los humedales antes de que estos se pierdan, para que el mundo sea saludable. Adicionalmente, es necesario educar a los jóvenes y las nuevas generaciones para que protejan activamente los humedales para el futuro.



Río Escanela, Pinal de Amoles



Vista desde Cuatro Palos, Pinal de Amoles





Doctor Marinus L. Otte
en Agua del Maíz, Pinal de Amoles

ENFOQUE DEL PROYECTO

El objetivo principal del proyecto Fulbright Specialist titulado “Capacitación en gestión del agua y humedales en diferentes sectores sociales: comunidades rurales, gobierno y academia/*Water management in a karstic rural impoverished environment*”, coordinado por la doctora Tatiana Lobato de Magalhães (Universidad Autónoma de Querétaro), fue desarrollar capacidades en la ciencia y gestión sostenible del agua y de los humedales. En septiembre del 2021, el doctor Marinus L. Otte (Universidad Estatal de Dakota del Norte, Especialista Fulbright) visitó la UAQ por cuatro semanas. Este proyecto giró en torno al manejo y conservación sustentable del agua y los humedales en el estado de Querétaro a través de un enfoque triple que combina 1) la educación en relación con el agua, 2) la concientización sobre los humedales y 3) la participación de comunidades locales. La presencia del Especialista Fulbright fue clave para mejorar los esfuerzos que realiza la UAQ en la región respecto a la disponibilidad y calidad del agua.

Se organizaron cursos de un día para cinco comunidades dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, Querétaro, México. Como parte de estos, la población local y el equipo del proyecto intercambiaron experiencias relacionadas con el agua y los humedales, centrándose en las necesidades específicas de cada localidad (por ejemplo, la contaminación del agua, el uso potencial de los humedales construidos para el tratamiento del agua, el manejo y la protección de manantiales, el hábitat para la vida silvestre y la educación). Todos los cursos estuvieron abiertos a los estudiantes de nivel licenciatura de los campus serranos de la UAQ ubicados en la reserva (Concá, Jalpan de Serra y Pinal de Amoles).



Miembros de la expedición

Llevar a cabo un proyecto de educación sobre humedales, la participación de la sociedad y la concientización durante la pandemia fue un desafío en términos de logística y planificación. Se llevaron a cabo talleres cortos al aire libre, como una medida de seguridad sanitaria. Las actividades se desarrollaron en grupos pequeños en los cuales se hizo caso de la distancia social y se utilizaron cubrebocas, a la vez que se mantuvo un mayor acercamiento con las personas, lo que hizo que la experiencia fuera productiva para todos.

El idioma puede ser un problema en los proyectos de alcance internacional, particularmente cuando involucran a la población local. En este contexto, se planificaron ponencias cortas con traducción simultánea para propiciar que se hicieran preguntas y ofrecieran respuestas y comentarios técnicos. Todo el material didáctico desarrollado en el proyecto era bilingüe (español e inglés) con el objetivo de que se pudieran mejorar las capacidades no solo de los participantes, sino también de los niños que se beneficiarán del material que se donó a las escuelas locales. Finalmente, se publicó este libro en español e inglés (este último en versión digital).

Expedición de ocho días

Se realizó una expedición de ocho días a la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda (del 18 al 25 de septiembre del 2021), durante la cual se interactuó con alrededor de 300 participantes de las comunidades, la universidad, la sociedad civil y el gobierno. Se dictaron talleres sobre agua y humedales a cinco comunidades rurales; se visitaron varios humedales naturales y artificiales, sistemas de tratamiento y sistemas de recolección; se organizaron dos reuniones con representantes locales del gobierno, la universidad y la sociedad civil; se visitaron dos campus rurales de la UAQ; se recolectó material para diagnósticos utilizando formularios; se tomaron 4,000 fotografías y se filmaron más de 14 horas de material audiovisual para un documental, incluidas 38 entrevistas grabadas. Apoyaron las actividades un estudiante de licenciatura y dos de posgrado de



Taller de humedales
en medio del bosque, Pinal de Amoles



Miembros de la expedición
en río Santa María, Arroyo Seco



Taller sobre construcción de humedales en regiones de declive



Doctor Marinus L. Otte durante el taller

los programas de Antropología, Gestión Integrada de Cuencas y Ciencias Biológicas, lo que a su vez les brindó la oportunidad de conectarse directamente con el Especialista Fulbright y científicos de la UAQ para aprender de su experiencia y pericia. Con base en las grabaciones audiovisuales, se produjeron cinco cortometrajes y un documental de una hora. La versión en español del documental se estrenó en Santiago de Querétaro el 4 de febrero del 2022. Finalmente, se promovió una exposición sobre los resultados del proyecto en el Museo de Ciencias Ximhai de la UAQ, estrenada en febrero del 2023. Todo el material del proyecto está disponible en el sitio electrónico: <https://uaqfulbrightspecialist.weebly.com>

Ponencias, material didáctico y dibujos

El equipo del proyecto promovió las siguientes conferencias basadas en la experiencia del doctor Marinus L. Otte con proyectos en las Américas, Asia y Europa, y como editor en jefe de la revista científica *Wetlands*.

- 1) "Soluciones sustentables para problemas ambientales con plantas amantes del agua". Para la audiencia de la Sociedad Botánica de México (con más de 2,000 visitas) como parte del programa del webinar mensual de dicha sociedad el 25 de agosto del 2021 (<https://www.socbot.mx/plantaa-cutestico-webinar.html>).
- 2) "Los humedales como solución a los problemas ambientales". Para docentes y estudiantes de la Facultad de Ciencias Naturales de los programas de maestría y doctorado en Ciencias Biológicas y en Gestión Integrada de Cuencas de la UAQ (118 participantes), el 7 de septiembre del 2021.
- 3) "Estudiantes contra editores, o cómo publicar tu artículo". Para docentes y estudiantes de los programas de la maestría en Gestión Integrada de Cuencas y en Ciencias Biológicas de la UAQ (30 participantes), el 14 de septiembre del 2021.
- 4) "Humedales". Para estudiantes de pregrado del campus rural de la UAQ en Concá, Arroyo Seco (30 participantes), el 21 de septiembre del 2021.



Amenazas a los humedales
Threats to wetlands

Contaminación
Pollution



Sobreexplotación
Overexploitation



Drenaje
Drainage



Especies invasoras no nativas
Invasive non-native species

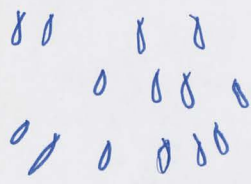


Eliminación de la costa
Shoreline removal



¡Respete los humedales en su estado natural!
Respect wetlands in their natural state!

Mujer de Cuatro Palos, Pinal de Amoles, con un folleto del proyecto sobre humedales



Para mi
El agua
Es vida



Mujer de El Pocito, Jalpan de Serra, mostrando su dibujo sobre el agua y los humedales

Debido a la falta de infraestructura (como electricidad o sitios de reunión adecuados) y la necesidad de estar en áreas al aire libre por la pandemia de COVID-19, se elaboraron como material didáctico nueve folletos bilingües (español e inglés) sobre los siguientes temas relacionados con los humedales:

- ✿ ¿Qué es un humedal?
- ✿ ¿Por qué son importantes los humedales?
- ✿ ¿Cómo son las plantas de los humedales?
- ✿ Humedales y mosquitos.
- ✿ Amenazas a los humedales.
- ✿ Humedales construidos.
- ✿ Cómo construir humedales.
- ✿ Manejo holístico de manantiales.
- ✿ Humedales para manejo de agua en viviendas pequeñas.

Se compartieron los folletos con los participantes durante las presentaciones interactivas. Adicionalmente, se les invitó a realizar dibujos o mensajes escritos sobre la importancia del agua y los humedales, de los cuales se obtuvo un total de 29, mismos que les permitieron expresar sus opiniones sobre el agua, particularmente a aquellos que tal vez eran demasiado tímidos para hablar durante las presentaciones o bien que no sabían leer ni escribir. El tema en común de los ejercicios fue que el agua es vida y es importante para los humanos y la naturaleza. Al final de los talleres se donaron todos los juegos de folletos a las comunidades junto con el resto del material didáctico (pizarras y lápices).

Resumen del mensaje de los participantes

- ✿ El agua es el corazón de nuestro planeta Tierra porque es vital para la humanidad, la vegetación y los animales. Sin agua, no hay vida.
- ✿ El agua es vida. Para mí es el recurso natural más importante porque si se acaba el agua ya no habrá plantas ni animales ni seres vivos como los humanos. Por eso creo que si la cuidamos y la tratamos, podemos vivir en un mundo mejor. Para mí, no tener agua es como no poder respirar.

- ✿ El planeta Tierra debe cambiar su nombre a Planeta Agua.
- ✿ El agua es la vida de todos los seres vivos. Plantas, animales y humanos. Para mí es muy importante cuidarlo y pensar en las nuevas generaciones.
- ✿ El agua es importante para mí porque tanto las personas como los animales dependen de ella. También es importante saber cuidarla porque ya nos estamos quedando sin agua en nuestro planeta y las futuras generaciones se verán afectadas. Cuida el agua por ti y por mí porque el agua es vida.
- ✿ El gobierno y otras entidades deben invertir en sensibilizar a la población, así como apoyar la construcción de reservas para almacenar agua de lluvia, el desarrollo de proyectos de reforestación y programas de conservación de suelos que eviten la erosión del suelo.

Actividades de grupo

Se organizaron dos talleres sobre la gestión del agua y los humedales para representantes gubernamentales con el fin de involucrar a las partes interesadas en el desarrollo de prácticas y estrategias de seguridad hídrica. El equipo del proyecto compartió las experiencias y desafíos de las comunidades de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda y las lecciones aprendidas en todo el mundo. Se buscó inspirar a los tomadores de decisiones a incluir prácticas que involucren humedales artificiales y proteger los humedales naturales en futuros proyectos en esta región. El primer taller fue en la reserva (Campus Jalpan, UAQ) y el segundo en la ciudad de Querétaro (Campus Cerro de las Campanas, UAQ, con transmisión en vivo por Facebook). Los talleres constaron de tres secciones: charla introductoria sobre humedales, experiencias de la Sierra Gorda y conclusiones. Se incluyeron varias actividades para promover el intercambio de ideas entre los participantes. Por ejemplo, se creó un mapa cognitivo sobre seguridad hídrica y se enumeraron las ventajas y desventajas del uso de humedales para resolver problemas ambientales. Finalmente, los participantes discutieron en pares las oportunidades que ofrecen los humedales y cómo podrían colaborar sus instituciones a corto, mediano y largo plazo. Se identificaron oportunidades sobre-

salientes, particularmente en lo que respecta a la educación y la concientización. A partir del contacto con diversos grupos hubo resultados sobresalientes, entre los cuales el más notable fue la identificación de la necesidad de una “asociación paraguas” con las partes interesadas en la gestión del agua y los humedales en la región. Guadalupe Sánchez Weimann, directora de la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP), acordó convocar una asociación de actores en el manejo del agua y los humedales en la región y organizar una conferencia en el otoño del 2022.

Otro mecanismo de divulgación empleado en el proyecto fue la entrevista realizada por TV UAQ el 9 de septiembre del 2021. Derivado de ello se realizó una reunión de trabajo con personal de la Comisión Estatal de Aguas.

Visitas a comunidades, lagos, manantiales y sistemas de tratamiento de agua

El Especialista Fulbright, junto con científicos de la UAQ y representantes locales, recorrió algunos de los humedales naturales y artificiales de la región para evaluar su estado, así como para identificar especies de interés que ayuden en la restauración y creación de humedales. También se llevó a cabo una visita a los sistemas de tratamiento de aguas residuales y arroyos contaminados, y se involucró a la población local en actividades para que aprendiera sobre los conceptos básicos de la gestión y calidad del agua, el reconocimiento de especies de plantas acuáticas, la ecología de los humedales y sus tipos, así como su papel en la seguridad hídrica y la conservación de la biodiversidad.

Historias contadas

Durante la expedición a la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda se grabaron alrededor de 14 horas de material audiovisual del paisaje y la

vida allí, y se realizaron 38 entrevistas con los habitantes en forma de narración de anécdotas. Las personas compartieron sus experiencias sobre el agua y los humedales en esta frágil región y hablaron sobre los cambios que ha habido en la gestión del agua desde su infancia hasta el presente, por ejemplo, con historias sobre manantiales desaparecidos. También contaron sobre nuevas metodologías para obtener el agua y sobre ríos contaminados, y dejaron un mensaje clave para salvaguardar el agua para el futuro. En colaboración con el equipo de la Coordinación General de Comunicación Social de la UAQ, se crearon cinco videos cortos de menos de diez minutos sobre los siguientes temas: la introducción del proyecto, problemas del agua, soluciones para la gestión sustentable del agua, agua en el pasado y salvaguardar el agua para el mañana. También produjimos un documental de una hora titulado *Percepciones sobre el agua (Water Talks-Perspectives from Sierra Gorda* en inglés).

Documental y cortometrajes

- ✦ Estreno del documental *Percepciones sobre el agua*: https://fb.watch/a_6w-TRmSE/
- ✦ *La importancia de salvaguardar el agua*: <https://youtu.be/6ajyO0o75Dc>
- ✦ *Retos del agua*: <https://youtu.be/8tB2L9JHMru>
- ✦ *Formas de salvaguardar el agua*: <https://youtu.be/tuxCiJ2bxzs>
- ✦ *El agua en el pasado*: https://youtu.be/ruraOVGJA_k
- ✦ *Salvaguardar el agua para el mañana*: <https://youtu.be/out74bFIKvc>

Encuestas

Durante la expedición UAQ-Fulbright Specialist a la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, se realizaron 30 entrevistas en las comunidades donde participaron 16 hombres y 14 mujeres; éstas fueron aplicadas por estudiantes de la Facultad de Ciencias Naturales. Este instrumento cubrió los apartados sobre la obtención del agua, métodos de tratamiento

de agua y desafíos en relación con el acceso al agua limpia. Se observó que la mayoría de los entrevistados tiene actualmente un sistema para recolectar agua de lluvia en casa, pero enfrenta problemas con la distribución y el suministro de agua. En general, los participantes mencionaron que disfrutaron de los cursos del proyecto y estaban interesados en aprender más sobre el manejo del agua y los humedales, incluyendo temas como la calidad del agua, la biodiversidad de los humedales, la conservación de manantiales y el uso de plantas acuáticas. Se evidenció la preocupación de la población de las comunidades por los bosques, la biodiversidad y la gestión sustentable del agua.

Principales problemas relacionados con el agua identificados por las comunidades

- ✿ Acaparamiento de agua.
- ✿ Contaminación de cuerpos de agua.
- ✿ Uso irresponsable del agua.
- ✿ Necesidad de más cisternas para almacenar agua de lluvia.
- ✿ Omisiones en los sectores administrativos en materia de agua.
- ✿ Efectos del cambio climático, sequía y escasez de agua de lluvia.
- ✿ Degradación ambiental.
- ✿ Impactos económicos.
- ✿ Falta de cultura del agua.

Obstáculos

El rol del equipo durante las visitas fue promover una mayor conciencia sobre la gestión sustentable del agua y la conservación y protección de los humedales. Como sucede en la mayoría de las regiones, estos esfuerzos se complican porque la mayoría de los humedales de la región fueron destruidos o alterados en el pasado. Los participantes locales no sabían lo que significaba el término "humedal" ni tenían ningún recuerdo de lo que solía haber allí (el problema de la amnesia ambiental

generacional). Lo más sorprendente es que la mayoría de las personas con las que nos encontramos durante la expedición no sabía que el embalse cercano al área urbana de Jalpan de Serra (el lugar más grande de la Sierra Gorda y su centro económico), la presa de Jalpan, es un Sitio Ramsar, nombre con el que se designa a los humedales de importancia internacional y protegidos a razón de su diversidad biológica. En el caso específico de dicha presa, se trata de un importante lugar de paso y descanso para las aves migratorias.

De acuerdo a lo anterior, se observó la falta de conocimiento sobre la importancia de los humedales no solo en las comunidades rurales, sino también entre los estudiantes de las zonas urbanas. Eso significa que existen innumerables oportunidades para crear conciencia sobre estos ecosistemas e iniciar un diálogo sobre la conservación del agua y los humedales.



Proyecto de reforestación, área importante para la captación de agua dentro de la microcuenca, en Agua del Maíz, Pinal de Amoles



Especialista Fulbright conversando con la directora del Grupo Ecológico Sierra Gorda I.A.P. durante una reunión en un proyecto de restauración forestal, fundamental para mejorar las fuentes de agua en la región





Bosque en Agua del Maíz, Pinal de Amoles





Manantial en Carrizal de los Durán, Jalpan de Serra

AMENAZAS AL AGUA Y LOS HUMEDALES

Cambio climático y global

Las amenazas a la cantidad y calidad del agua y los humedales en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, o en cualquier otro lugar del mundo, no se refieren a la variación natural, sino a los cambios perjudiciales que resultan de las actividades humanas.

Podría decirse que el cambio climático es la mayor amenaza para el agua y los humedales porque abarca todo el mundo, más allá de las fronteras nacionales y los límites naturales. El cambio climático es una variación en los patrones climáticos globales y regionales. El aumento de los niveles de dióxido de carbono atmosférico producido por los combustibles fósiles es especialmente evidente desde mediados hasta finales del siglo XX. El cambio climático es parte del cambio global, que se refiere a las transformaciones que ocurren en todo el planeta, no solo en el clima. Aunque se considera que el dióxido de carbono de los combustibles fósiles es la principal razón de los cambios del clima, existen otros factores como los cambios en el uso de la tierra. Los seres humanos han transformado el mundo, por ejemplo, con sus actividades agrícolas, construyendo ciudades y caminos, cazando animales y cosechando plantas de la tierra y el agua. Los cambios del planeta debidos a las actividades antrópicas son tan impactantes que ahora el período que se vive se titula como el Antropoceno. Los cambios en el uso de la tierra, a su vez, afectan las cantidades de dióxido de carbono que absorben las plantas a través de la fotosíntesis, pero también la cantidad de dióxido de carbono y agua que liberan todos los organismos por medio de la respiración. Los efectos del cambio global y climático implican el pronóstico de que México, incluida la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, recibirá menos precipitaciones en el futuro.

¿Cómo afectan el cambio climático y global al agua y los humedales de la Sierra Gorda?

Aumento de las temperaturas y sequías. Se espera que gran parte de México experimente una disminución de las precipitaciones y la nubosidad, así como temperaturas más altas. Esto significará una baja en la disponibilidad de agua y en sus niveles en ríos y lagos, además de sequías más frecuentes y prolongadas. Los humedales se reducirán o desaparecerán por completo y los arroyos intermitentes estarán más secos por un tiempo mayor. Todos los organismos que dependen del agua, incluidos los humanos, se verán fuertemente afectados por estos cambios. No solo será menor la cantidad de agua en el paisaje, sino también su calidad. Diversos cuerpos de agua tienen altos niveles de nutrientes de las plantas, particularmente estanques y cuencas cerradas, y a medida que se evaporan, los contaminantes se quedan y sus concentraciones aumentan. El agua de estos humedales se volverá inutilizable para el consumo durante períodos más largos que en la actualidad, y posiblemente de forma permanente.

Presencia, abundancia y distribución de especies. Toda la vida necesita agua, pero algunas especies son más resistentes que otras a los cambios en su disponibilidad y calidad. Si el pronóstico es correcto, la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda recibirá menos precipitaciones, lo que afectará particularmente a los animales y plantas que dependen del agua para su reproducción y alimentación, es decir, todas las especies que viven en ríos, arroyos, lagos, estanques y humedales. Los peces, las ranas y las salamandras se volverán menos comunes o se extinguirán por completo y, por lo tanto, también lo harán los animales que se alimentan de ellos. Es posible que las plantas de los humedales tengan que soportar períodos de sequía más prolongados y esto afectará a aquellas que necesitan agua durante todo el año, como los nenúfares. En el centro de México desaparecerán los cuerpos de agua, mientras que las especies de matorral seco y semidesierto se expandirán hacia el sur. Es muy difícil predecir qué tan severos serán estos cambios, pero es seguro que ocu-

rirán. Debido a las actividades humanas, la Tierra está variando mucho más rápido que en cualquier otro momento.

Aumento de los conflictos sociales por el agua. Donde quiera que disminuye la disponibilidad de agua, surgen conflictos. Esto puede ser a pequeña escala, por ejemplo, entre propiedades vecinas, o a largas distancias. Marc Reisner describe un caso de esto último en su libro *Cadillac Desert: The American West and Its Disappearing Water* de 1986, el cual se trata de cómo las ciudades del oeste de Estados Unidos, como Los Ángeles, Las Vegas y Denver, obtienen agua de muy lejos, incluso fuera de sus estados. Lo anterior permite suponer que el agua que se encuentra en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, particularmente en los manantiales, no debe considerarse exenta de la explotación por parte de ciudades lejanas. Con las tecnologías actuales, no sería problema para una ciudad como Querétaro obtener su agua de la Sierra Gorda a 185 km de distancia. La ciudad de Los Ángeles en California obtiene su agua, entre otros lugares, del acueducto del río Colorado, a 400 kilómetros de distancia, por lo tanto, no se puede descartar que entidades ajenas a la Sierra Gorda busquen acceder a sus aguas, lo que podría causar una gran problemática en la región.

Requerimientos del agua y contaminación

Entre más gente viva en una zona, mayor será la demanda de agua, así como los niveles de contaminación que se generen. En algunas partes de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, el número de habitantes está disminuyendo debido a la falta de oportunidades económicas. Sin embargo, municipios como Jalpan de Serra y Landa de Matamoros han experimentado un aumento de población bastante significativo. Como resultado, hubo cambios en la demanda de agua y los niveles de contaminación empeoraron, lo cual no es una situación única, pues sucede en cualquier parte del mundo. No obstante, tanto la demanda como la contaminación del agua se distribuyen de manera desigual en la

Sierra Gorda. La búsqueda de agua limpia en las ciudades implica que ésta tiene que ser transportada desde fuentes remotas, mientras que el agua contaminada en entornos urbanos requiere un buen tratamiento de aguas residuales antes de ser vertida de nuevo a los ríos. La contaminación del agua no se limita a los centros urbanos, ya que hay diferentes tipos dependiendo de la ubicación. En las ciudades, la escorrentía sobre superficies duras como techos, carreteras, complejos industriales, así como las aguas residuales de los hogares y negocios, resultan en agua con una mezcla compleja de jabones, aceites y otras sustancias inorgánicas y orgánicas. En las zonas rurales, la contaminación se da en los hogares, en las actividades agrícolas que producen escorrentías con nutrientes de los campos de cultivo y en los desechos de las operaciones ganaderas.

Degradación y destrucción de humedales

Una de las características más importantes de los humedales es que están saturados de agua; sin embargo, no tienen tanta profundidad como los lagos y mares, que son profundos. Es decir, son someros, son sitios de transición entre zonas terrestres y acuáticas, y cambian a través del tiempo y espacio. Al caminar desde tierra firme alrededor de un humedal hasta la línea de flotación, el suelo se vuelve más húmedo. Por lo tanto, no es de extrañar que la agricultura en las regiones áridas a menudo se encuentre en los humedales o muy cerca de ellos; tradicionalmente es el único lugar donde se puede cultivar de manera confiable. Por ello, como se mencionó anteriormente, más del 80% de los humedales ha sido destruido. Hasta unas décadas atrás, los humedales eran considerados “lugares inútiles” que debían ser convertidos en áreas para la producción de cultivos.

Ahora la humanidad se da cuenta de que los humedales intactos brindan servicios ecosistémicos que, en suma, son más valiosos que la producción de cultivos. Por ejemplo, amortiguan los cambios en la disponibilidad de agua, la almacenan cuando hay demasiada y recargan los

suministros cuando hay muy poca. Por lo tanto, es mejor realizar estas actividades cerca y no dentro de ellos, aunque cuando los cultivos se siembran a poca distancia suya corren el riesgo de sufrir daños y contaminación debido al aumento de la erosión y al uso de fertilizantes y pesticidas que se filtran. Incluso si los humedales, lagos y ríos no están rodeados por la agricultura, otra amenaza es la deforestación.

Deforestación y sus efectos en el agua y los humedales

Los bosques de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, como en cualquier cadena montañosa, actúan como esponjas, almacenando agua cuando llegan las lluvias y liberándola durante la estación seca. Proporcionan el principal almacenamiento de agua en las cuencas hidrográficas que desembocan en arroyos, ríos y lagos cuenca abajo.

La deforestación de bosques en el mundo se desarrolla con el fin de crear campos de cultivo y praderas de pastoreo, a menudo con consecuencias desastrosas. En varios casos, la tala ha provocado la erosión y la pérdida de suelos, y como resultado los lagos y ríos de zonas bajas se llenan con cantidades masivas de sedimentos. Particularmente en las regiones áridas, la erosión generada a partir de la deforestación ha provocado daños irreparables. Por lo tanto, es fundamental que se protejan los bosques existentes en la Sierra Gorda y que se promueva la reforestación, sobre todo en áreas que antes estaban cubiertas por bosques, pero ahora experimentan erosión.

Especies invasoras

Desde cualquier punto de vista, la especie más dañina en la Tierra es el humano, *Homo sapiens*, quien es responsable de la dispersión de especies invasoras. Las especies perjudiciales pueden causar daño directamente, por ejemplo, las malezas que reducen la producción de cultivos, o

indirectamente al tener un impacto negativo en los ecosistemas que nos brindan beneficios. Pueden superar a las especies más deseables o bien crear problemas físicos, como obstrucciones a la navegación.

Las especies invasoras se encuentran en todos los grupos biológicos. Generalmente son especies exóticas que tienen la capacidad de desplazar a las locales. Nunca es fácil detectarlas y es aún más difícil determinar cuándo y cómo llegaron. A menudo lleva décadas identificarlas, y para entonces la invasión se ha convertido en una problemática desastrosa. Entre esas especies, el lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) ha afectado cuerpos de agua en regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo, y en la presa de Jalpan de Serra provoca infestaciones periódicas. Esta planta sólo es capaz de establecerse en aguas ricas en nutrientes, por lo que su presencia indica un acúmulo de estos (eutrofización). Aunque resulta excelente para mejorar la calidad del agua, sobre todo si se cosecha para eliminar dichos nutrientes, provoca graves obstrucciones y cambios en la composición biótica.

Por su parte, existen peces exóticos en el estado de Querétaro, aunque no se ha confirmado su presencia en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda. Entre las especies están: *Carassius auratus* (carpa dorada), *Ctenopharyngodon idella* (carpa herbívora), *Cyprinus carpio communis* (carpa común), *Ictalurus punctatus* (bagre de canal), *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoíris), *Lepomis macrochirus* (mojarra azul), *Micropterus salmoides* (lobina negra), *Oreochromis aureus* (tilapia azul), *Oreochromis mossambicus* (tilapia de Mozambique) y *Poeciliopsis gracilis* (guatopote jarocho).



Geomembrana desbordante
donde en el pasado hubo un humedal natural



Aguas cristalinas del manantial
de Concá, Arroyo Seco

OPORTUNIDADES

A través del proyecto se identificaron diversas posibilidades de gestión para la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda en cuanto a la sustentabilidad del agua y los humedales, incluidas la gestión de cuencas hidrográficas, la conservación de manantiales y la restauración de estanques naturales y artificiales conocidos localmente como "bordos". Las localidades urbanas de la región se beneficiarían directamente con la incorporación de humedales en los sistemas de tratamiento de aguas residuales (como tratamiento terciario) en proyectos existentes y futuros. Los habitantes son conscientes de la importancia de la conservación de los manantiales naturales, pero les falta conocimiento sobre cómo protegerlos y conservarlos. Adicionalmente, existen grandes desafíos relacionados con los cambios en el uso de la tierra, como la deforestación y la construcción de carreteras, actividades que erosionan el suelo, contaminan el agua, comprometen los recursos hídricos esenciales y parecen difíciles de evitar.

Manejo de cuencas

La planificación del manejo de una cuenca consiste en identificar las actividades que la afectan y ocurren dentro de ella, las cuales afectarán los recursos naturales, la calidad y el suministro del agua. Las recomendaciones de manejo adecuado de las cuencas contribuyen a reducir y solucionar los impactos negativos. Este proceso requiere una colaboración entre los diversos participantes de dichos cuerpos de agua. Los pasos indispensables para la gestión de cuencas hidrográficas son los siguientes:



Especialista hablándole a comunitarios de Carrizal de los Durán, Jalpan de Serra, sobre el cuidado del manantial

Paso 1

Identificar las características de la cuenca e inventariar sus recursos naturales

- ✂ Delinear y mapear los límites de la cuenca y sus subcuencas.
- ✂ Hacer un inventario y mapeo de las características de la cuenca, como el drenaje natural y artificial, el uso y la cobertura de la tierra, los tipos de suelo, las áreas de erosión, la calidad del agua, las fuentes de contaminación, las descargas industriales, los sistemas municipales de aguas pluviales, las fallas en los sistemas sépticos, las descargas ilícitas, etcétera.
- ✂ Recopilar información adicional específica de la cuenca, como obstrucciones que no están oficialmente mapeadas y especies de plantas raras o amenazadas.
- ✂ Voluntarios pueden hacer observaciones durante sus caminatas por los arroyos y región, mapeando otras características específicas de la cuenca.
- ✂ Establecer una línea de base de toda la naturaleza y la calidad de la cuenca.

Paso 2

Formar colaboraciones locales

- ✂ Identificar colaboradores, es decir, personas interesadas en la cuenca como residentes y propietarios de la tierra en las comunidades; funcionarios del gobierno federal, estatal y municipal; grupos ambientalistas y asociaciones civiles; comerciantes y líderes industriales locales; usuarios de la agricultura; maestros; etcétera. Esto tiene como objetivo generar una asociación o colaboración para el desarrollo de proyectos.
- ✂ Promover la conciencia sobre la importancia de la gestión sustentable del agua. Una vez que las personas se concientizan y se interesan por su cuenca, frecuentemente se involucran más en la toma de decisiones y en los esfuerzos prácticos de protección y restauración.

Paso 3

Determinar las prioridades de acción

- ✦ Establecer objetivos claros, visiones y acciones a tomar.
- ✦ Determinar cuáles son las oportunidades para abordar problemas ambientales apremiantes.
- ✦ Establecer un mantenimiento frecuente de los sistemas municipales de aguas pluviales, mejorando o reemplazando los sistemas inadecuados, y separar los sistemas de aguas pluviales de los sistemas de alcantarillado.
- ✦ Identificar y eliminar las conexiones indeseables e imprevistas a los sistemas municipales de aguas pluviales.
- ✦ Aumentar las inspecciones y el mantenimiento de los sistemas sépticos existentes y fomentar las reparaciones de los sistemas defectuosos.
- ✦ Promover el uso de tanques sépticos.
- ✦ Promover zonas de amortiguamiento con vegetación adyacentes a cuerpos de agua y humedales.
- ✦ Identificar áreas disponibles para la adquisición de espacios abiertos, la planificación de áreas verdes y el establecimiento de zonas de amortiguamiento con vegetación a lo largo de cuerpos de agua y humedales.
- ✦ Identificar las prioridades de restauración de los recursos naturales y el hábitat de la vida silvestre.
- ✦ Identificar y evaluar oportunidades para la protección contra inundaciones no estructurales.
- ✦ Mejorar la gestión de residuos, la prevención de la contaminación y los esfuerzos de reciclaje.
- ✦ Construir invernaderos para propagar plantas acuáticas nativas.

Paso 4

Llevar a cabo programas educativos

- ✦ Promover la formación de grupos de acción ciudadana y comités de asesores.
- ✦ Organizar proyectos de divulgación, como pequeños talleres para las comunidades locales.
- ✦ Crear comités ciudadanos para monitorear la cuenca.



Plantas acuáticas en el manantial
de Concá, Arroyo Seco



Manantial en Río Verdito,
Landa de Matamoros

Conservación de manantiales

La Reserva de la Biosfera Sierra Gorda es rica en manantiales naturales, varios de los cuales suministran agua durante todo el año, y tanto las personas como su ganado dependen de estos para su consumo diario. Se pronostica que el cambio climático provocará temperaturas más altas y menos precipitaciones en gran parte de México. Esto significa que algunos manantiales pueden convertirse en fuentes de suministros de agua intermitentes o secarse por completo, mientras que la demanda de agua dulce y limpia aumentará.

La mayoría de los manantiales de la región se encuentran en mal estado, al menos aquellos a los que se puede llegar fácilmente y que sirven para múltiples propósitos, como el proporcionar agua potable para personas y animales (Figs. 1, 2 y 3), el lavado de ropa (Fig. 4) y la recreación (Fig. 5). Tradicionalmente, todos estos han sido los usos normales de los manantiales, al igual que la descarga de aguas residuales a los arroyos. Aunque la población humana de comunidades rurales de las montañas ha disminuido, la de la Sierra Gorda en general va en aumento y su movilidad ha incrementado drásticamente durante las últimas décadas. Es cada vez más frecuente que la gente haga excursiones de un día, mientras que algunos tienen casas de fin de semana en la zona. El tamaño de los centros urbanos de la región está en constante crecimiento. Por ejemplo, la población de Jalpan de Serra aumentó de 7,848 a 30,457 habitantes entre 1975 y 2015. La necesidad de agua limpia intensifica la presión para explotar los manantiales de las montañas, por lo que es urgente desarrollar planes de manejo y protección adecuados para los que se encuentran en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda.



Figura 1. Manantial cerca de Concá, Arroyo Seco.

Este manantial está rodeado por una cerca y la vegetación que lo rodea se corta periódicamente. Proporciona agua potable para animales y personas

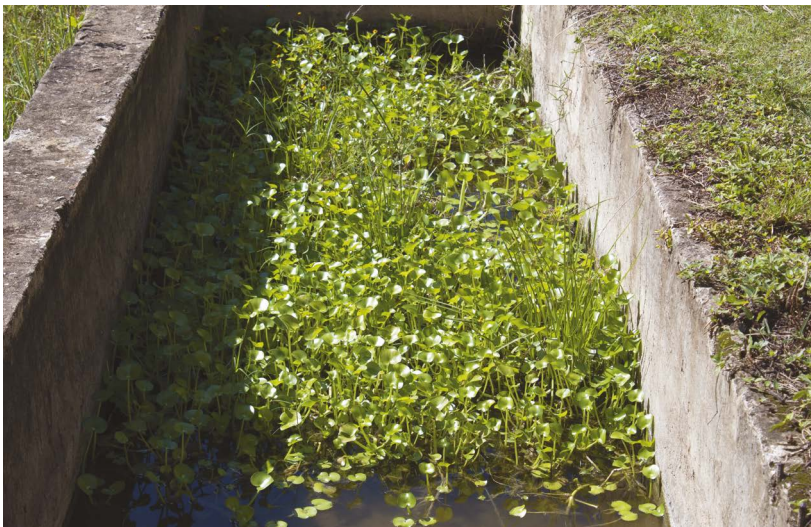


Figura 2. Abrevadero para el ganado que se encuentra inactivo y está junto al arroyo alimentado por el manantial.

Créditos de Cristian Eduardo Rodríguez Jacinto



Figura 3. El agua del manantial es retenida por una pequeña presa, lo que hace posible que la comunidad local recolecte el agua para uso doméstico, transportada a los hogares por el tubo negro en la parte superior de la imagen. El exceso de agua se derrama a través de una tubería más grande en los periodos de alto flujo, por ejemplo, durante la temporada de lluvias que se extendió hasta la expedición en septiembre del 2021



Figura 4. Lavado de ropa con agua que surge de un manantial cercano al campus de la Universidad Autónoma de Querétaro en Conca, Arroyo Seco. Créditos de Marinus L. Otte



Figura 5. Niño jugando junto a un manantial

Hay una serie de problemas que se pueden abordar fácilmente y que deben tener alta prioridad, sin ningún orden en particular

Los animales y los manantiales. Durante la temporada de lluvias, el ganado pastorea libremente por las montañas alrededor de las comunidades, ya que la comida y el agua son abundantes en ese período. Sin embargo, a lo largo de la estación seca las fuentes de agua escasean y un lugar donde se congregan los animales es inmediatamente río abajo de los manantiales, por lo que es necesario cercarlos para evitar el acceso a ellos. En el pasado se utilizaban los abrevaderos para dar de beber a los animales (Fig. 2), mas eso no se acostumbra actualmente en algunas comunidades visitadas, tal vez porque el número de animales por familia ha aumentado con los años, lo que significa que ahora estos caminan directamente hacia el arroyo, a pocos metros del manantial, y no solo beben allí, sino que también orinan y defecan. En esta temporada a los niños les gusta jugar y estar cerca del agua, pero la contaminación es tan alta que esto ya no es posible. Una solución práctica es evitar que los animales, especialmente el ganado, se aproximen al agua. En el caso del manantial de Carrizal de los Durán, se podría fácilmente impedir que el ganado transite por los primeros 200 metros del manantial lejos de la comunidad, para que esa parte quede limpia y sea utilizada por los niños (y sus padres) con fines recreativos. Otra forma de mantener a los animales alejados del agua es restablecer el uso de abrevaderos, que pueden alimentarse por gravedad con agua de los manantiales, pero lejos del arroyo.

Remoción de la vegetación. Esta práctica, realizada alrededor de los manantiales, parece lógica para mantener el acceso al agua. Sin embargo, pueden existir plantas y animales que solo se encuentran asociados a estos sitios. No sabemos a ciencia cierta si esto sucede en el manantial de Carrizal de los Durán o en otros de la región porque no se han hecho estudios, pero es bien conocida la presencia de plantas y animales endémicos en estos cuerpos de agua. La remoción de la vegetación también afectará el establecimiento de las plantas nativas, así como a

los animales que dependen de ellas, incluidos los anfibios y los insectos. Además, la vegetación es importante para contener la erosión del suelo y la acumulación de materia orgánica en el manantial, lo que afecta negativamente la calidad del agua. Mantener y mejorar la biodiversidad asociada a los manantiales y la calidad del agua debería ser motivo suficiente para mantener la vegetación alrededor de los manantiales lo más intacta posible, no solo para el manantial de Carrizal de los Durán, sino para todos los de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda.

Lavado de ropa cerca del manantial. Lavar la ropa directamente en los manantiales conduce a la contaminación del agua, por lo tanto, esta práctica debe abandonarse con urgencia. Una solución fácil es crear un estanque situado a menor elevación y a cierta distancia del manantial para que se llene de agua por gravedad. Dichos lavaderos deben tener dos salidas. Cuando la placa no se usa para lavar, el agua simplemente debe pasar por la primera salida y regresar al arroyo. Pero cuando se necesita usar el agua para lavar la ropa, se debe cerrar la salida hacia el arroyo, mientras que la segunda salida lleva el agua sucia a un pequeño humedal artificial. Ese humedal limpiará el agua antes de que pueda ser descargada. Este sistema implica que todos los usuarios deben conocer y seguir las instrucciones para abrir y cerrar las compuertas según sea necesario.

Recreación en el manantial. Cerca de Concá hay un área con múltiples manantiales que se utilizan principalmente para la recreación. En la visita en septiembre del 2021 fue claramente visible que estaban afectados negativamente por este tipo de actividades hasta cierto punto y algunas pozas mostraban alfombras de algas verdeazules (una señal de contaminación), erosión y basura. Estos manantiales representan una buena oportunidad para la comunidad local; sin embargo, si se permite que continúe el deterioro, los turistas ya no visitarán los manantiales y, por lo tanto, los ingresos financieros disminuirán. Existen varias opciones para mejorar esta situación, como limitar el acceso a ciertos manantiales, crear senderos naturales con materiales educativos para explicar el valor y la naturaleza vulnerable de los manantiales y hacer una exhibición al aire

libre con plantas y peces en la estructura de hormigón abandonada que alguna vez fue utilizada para la piscicultura.

Estanques naturales y artificiales

Los “bordos” son estanques construidos predominantemente usados para proporcionar agua al ganado. Tradicionalmente, estos estanques eran pequeños pozos de agua excavados en el paisaje. Algunos son pequeños (Figs. 6 y 7), otros grandes (Fig. 8) y algunos sistemas modernos están revestidos con geomembrana (Fig. 9). En la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, típicamente se comparten entre comunidades y ejidos. Durante la temporada de lluvias, de junio a septiembre, la mayor parte del ganado deambula por los alrededores de las comunidades, donde encuentra suficiente alimento y agua. Sin embargo, durante la estación seca, de octubre a mayo, bajan a estos estanques en busca de agua. Su presencia crea varios problemas. Uno es que los excrementos enriquecen el agua con macronutrientes que reducen la calidad del agua; otro es que los animales pisotean los costados del estanque, dañando su integridad estructural y aumentando la carga de sedimentos. Además, casi todas las plantas que intentan establecerse en los estanques son devoradas por vacas y caballos. En su estado actual, los estanques no brindan beneficios a las comunidades aparte del agua para el ganado. Sin embargo, si se convirtieran en humedales saludables, se podrían crear beneficios adicionales, incluidos los monetarios. Dado que el agua se percibe como belleza natural, el área sería más atractiva para los turistas y la población local.

Oportunidades para aumentar los beneficios de los estanques naturales y artificiales

Usar materiales naturales. Se debe priorizar el uso de arcillas locales específicas en lugar de geomembrana para el revestimiento. El área es rica en arcilla densa, y esto podría usarse para revestir los estanques.

La geomembrana es fuerte, pero se degradará, particularmente donde esté expuesta a las intemperies, como los bordes de los estanques (Fig. 9) y las generaciones futuras tendrán que lidiar con la contaminación. Otro problema con el revestimiento de geomembrana es que evita que se establezca la vegetación acuática, la cual hace que el estanque sea más atractivo, sirve como alimento para el ganado y estabiliza los terraplenes con sus raíces. Adicionalmente, la degradación de la geomembrana causará contaminación con la que deberán lidiar las generaciones futuras.

Mantener al ganado fuera. Se debe evitar que el ganado ingrese directamente a los estanques. Es mejor llevar el agua a los bebederos que estén lo suficientemente lejos de los estanques para evitar que los excrementos lleguen al agua. Si los abrevaderos están situados a una altura más baja que los estanques, pueden llenarse con alimentación de agua por gravedad.

Llenar los bordos con agua limpia. Se debe asegurar de que el agua que llena los estanques no lleve grandes cargas de sedimentos. Esto significa que el agua debe provenir de arroyos limpios o de laderas con vegetación. Hay que evitar que el agua fluya hacia los estanques desde laderas sin vegetación y caminos. Especialmente cuando proviene de las carreteras, el agua transporta petróleo y contaminantes que podrían ser perjudiciales para la salud humana y animal.

Vegetación natural. Se debe permitir que la vegetación nativa se desarrolle y sembrar plantas deseables. Idealmente, la vegetación debería ser nativa, pero también se pueden considerar especies exóticas que no sean invasoras. Por ejemplo, el carrizo gigante, *Arundo donax*, se encuentra en la región. No es una especie local, pero tampoco fuertemente invasora, además de que presenta beneficios como el suministro de material para construcción. También es una especie que estabiliza las orillas y es decorativa. Para que se desarrolle la vegetación nativa, las orillas de los estanques deben descender suavemente hacia el agua de modo que se pueda establecer una franja poco profunda de dos a tres metros, particularmente en los estanques grandes.

Caminos entarimados. Se deben considerar caminos entarimados a lo largo de los estanques, tal vez como parte de los senderos a través de la región. Esto permitirá a los visitantes acercarse al agua y disfrutar de las vistas, sin impactar la vegetación y el agua.

Peces. Es posible establecer poblaciones de peces en el cuerpo de agua, aunque eso requeriría asegurar estanques con suficiente profundidad para mantener las poblaciones de peces incluso durante las sequías más extremas. Se debe tener cuidado de no introducir especies que no son locales, como la carpa, que se comerá toda la vegetación acuática. En cambio, es mejor considerar las especies que comen insectos, incluidas las larvas de mosquitos.





Figura 6. Estanque pequeño en El Tepozán, Jalpan de Serra



Figura 7. Estanque construido recientemente en las laderas empinadas en Cuatro Palos, Pinal de Amoles



Figura 8. Gran estanque en El Tepozán, Jalpan de Serra. Se excava regularmente para eliminar los sedimentos de acceso de la erosión de laderas arriba



Figura 9. Estanque construido recientemente cerca de Cuatro Palos, Pinal de Amoles, revestido con geomembrana, el cual se llena sobre todo con agua que baja del camino. Está cercado para mantener fuera al ganado y evitar daños en el revestimiento

Construcción de humedales

Los humedales son elementos naturales del paisaje, pero se pueden construir para brindar beneficios donde sean necesarios. Por supuesto, imitar las características naturales a través de la construcción no es nada nuevo: hemos creado jardines, bosques y estanques durante miles de años. Sin embargo, la construcción de humedales para mejorar la calidad del agua es más reciente. Los humedales son muy buenos para eliminar todos los tipos de contaminantes, incluidas las bacterias y los virus. Se han construido en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda en forma de estanques (Figs. 6-9) y como sistemas a pequeña escala para el tratamiento de aguas grises de los hogares (Fig. 10). La mayoría de los estanques en su estado actual sirven para suministrar agua potable al ganado y proporcionar hábitat para varios organismos (peces, insectos y algunas plantas). No están contruidos con el propósito de limpiar el agua y no son muy atractivos.

En su caso, la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas grises se han dejado de usar porque no tienen mantenimiento; los existentes se pueden readaptar, pero podrían mejorarse, ya que no se necesita concreto. Estos sistemas deberían ser más grandes que el que se muestra en la Fig. 10, y se podrían acompañar de la construcción de pequeños humedales en depresiones de áreas planas revistiéndolos con arcilla, la cual podría estar disponible en el lugar. Es recomendable verificar la porosidad de la arcilla antes de su uso y debe compactarse *in situ*, además de que debe ser lo suficientemente impermeable y resistente para funcionar igual que el concreto.

El sustrato para las plantas debe ser poroso para que puedan establecerse fácilmente. No es necesario que haya agua en la superficie. Estos sistemas se conocen como "humedales de flujo subterráneo". En la Fig. 11 se muestra un diagrama de cómo se pueden construir. Si el espacio es suficiente, los sistemas más grandes disponibles podrían combinar el flujo subterráneo con el flujo superficial (Fig. 12), y los sistemas

flotantes son otra opción (Fig. 13). Estos se pueden construir en serie o como parte de un sistema. Cuanto más diverso sea un humedal en términos de vegetación y profundidad, mejor será como hábitat para la vida silvestre.



Figura 10. Estructura de concreto detrás de una casa en El Tepozán, Jalpan de Serra. Alguna vez fue utilizada para el tratamiento de aguas grises. La gente dice que sí había funcionado muy bien, pero no le habían dado mantenimiento. Créditos de Marinus L. Otte

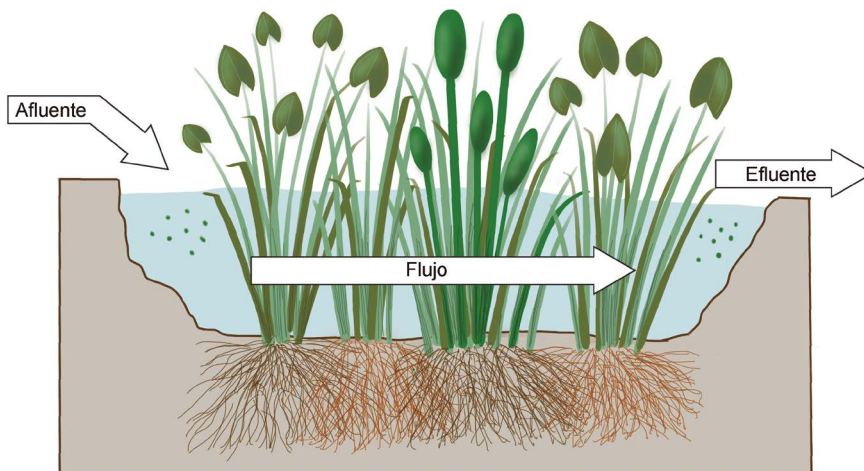


Figura 11. Dibujo esquemático de la trayectoria del flujo de agua de un humedal artificial de flujo superficial (superficie de agua libre).
Diseño de Saraí Melina Parra Hernández

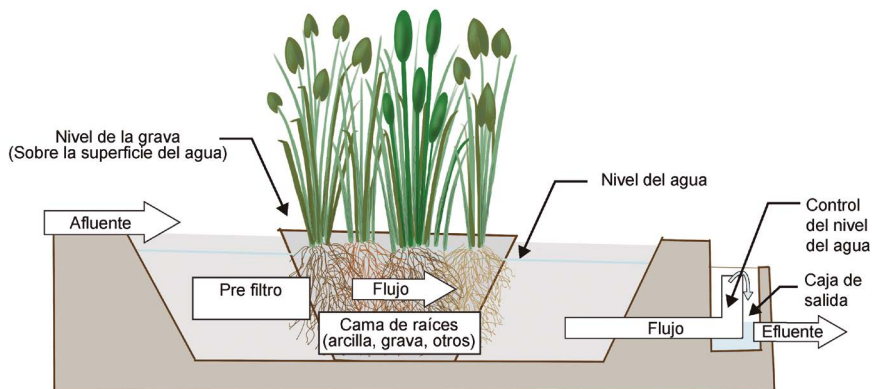


Figura 12. Dibujo esquemático de la trayectoria del flujo de agua a través de un humedal artificial de flujo subterráneo.
Diseño de Saraí Melina Parra Hernández

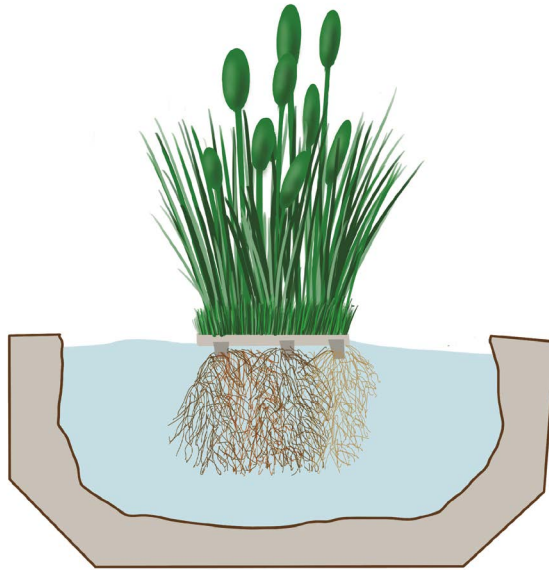


Figura 13. Dibujo esquemático de una sección transversal de un humedal de tratamiento flotante establecido en un estanque o canal. Las copas de las plantas están sostenidas por espuma de núcleo sólido u otras matrices flotantes que facilitan la supervivencia de las especies acuáticas y semiacuáticas. Diseño de Saraí Melina Parra Hernández

Sería deseable que todas las aguas grises de los hogares fueran recolectadas y tratadas por humedales construidos antes de su descarga, lo cual requiere la reinstalación de tuberías de desagüe en los hogares. El suministro de agua a los sistemas variará a lo largo del año, pero mientras estos no se sequen por completo, ello no representa un problema: muchas plantas adaptadas a los humedales pueden, de hecho, tolerar algunos períodos de sequía. Los humedales construidos son más baratos que los sistemas convencionales de tratamiento químico-físico y son más fáciles de mantener. Sin embargo, deben cuidarse en cierta medida, por ejemplo, si las plantas producen demasiada materia muerta, esto puede asfixiarlas, particularmente en sistemas pequeños donde el espacio es limitado.

En una escala mayor, los humedales se han construido como un paso final para el tratamiento de “refinamiento” o “tratamiento terciario”, por ejemplo, después del proceso convencional de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales municipales. Hay diversos ejemplos en Europa, Asia y América del Norte, pero no son tan comunes en México. En la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda no se utilizan grandes humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales, pero ciertamente las oportunidades abundan. La actual planta de tratamiento de aguas residuales de Jalpan de Serra (Fig. 14) podría beneficiarse de uno para el tratamiento terciario antes de descargar al río.



Figura 14. Planta de tratamiento de aguas residuales de Jalpan de Serra. Allí se trata el agua de esa localidad urbana, incluyendo las aguas negras y grises de las casas, así como las escorrentías de las calles. Además, el agua limpia de un manantial debajo de Jalpan se dirige a la corriente de aguas residuales. Como resultado, el sistema a menudo excede su capacidad en términos de volúmenes de agua, particularmente durante la temporada de lluvias, y luego no es capaz de limpiar el agua con la calidad deseable antes de descargarla en el río Jalpan.
Créditos de Cristian Eduardo Rodríguez Jacinto

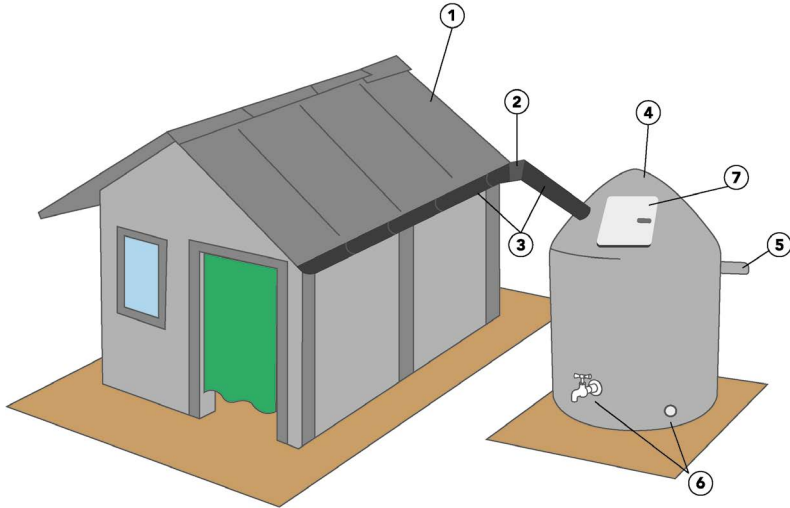
Sería incluso mejor si la entrada de agua a la instalación de tratamiento se limitara a aguas negras y grises. La escorrentía de las calles de la ciudad debe desviarse hacia un sistema de drenaje separado, que luego puede ser tratado en su propio humedal. Estos sistemas se denominan humedales de tratamiento de "aguas pluviales". Además, la descarga de agua limpia de un manantial debajo de la ciudad, como es el caso de Jalpan de Serra, no debería ocurrir. No sólo aumenta el volumen de agua que pasa por la planta de tratamiento, sino que disminuye la eficacia del sistema porque las reacciones químicas de limpieza del agua dependen de la concentración de contaminantes: cuanto mayor sea la concentración, más eficientes serán las reacciones.

Ejemplos de plantas para humedales construidos

- ✿ *Azolla* (amoyo, chilacastle).
- ✿ *Cyperus*, *Eleocharis*, *Schoenoplectus* (juncos).
- ✿ *Lemna* (lenteja de agua).
- ✿ *Juncus* (tulillo).
- ✿ *Nymphaea* (nenúfar).
- ✿ *Persicaria*, *Polygonum* (chilillo) y *Rumex* (lengua de vaca).
- ✿ *Potamogeton* (sargazo, laurelillo).

Métodos para recolectar agua

En la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda existen sistemas de captación de agua de lluvia en comunidades rurales y algunas áreas urbanas, los cuales recolectan, almacenan y redistribuyen esta agua. Las personas utilizan los techos de las casas como superficie principal para captar el agua de lluvia a través de canaletas que a su vez van a tanques (Fig. 15). Dados los efectos del cambio climático, con un clima más cálido y seco pronosticado para la región, la recolección de agua de lluvia puede convertirse en un medio más importante para obtener agua limpia de



Funcionamiento de los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALLS)

Los componentes de los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia son:

- 1) Un techo o superficie que capte el agua de lluvia.
- 2) Una red para atrapar hojas.
- 3) Un sistema de canaletas que dirija el agua hacia el lugar de almacenamiento.
- 4) Un tanque para almacenar el agua de lluvia.
- 5) Un tubo en la parte superior para que salga el agua en caso de que la cisterna se llene.
- 6) Dos llaves para sacar el agua. La primera para usar el agua y que esté a la altura para poder poner una cubeta y la segunda para desaguar la cisterna cuando se lave.
- 7) Una puerta para poder ingresar a la cisterna.

Figura 15. Dibujo esquemático de un sistema estándar de captación de agua a través de techos implementado en las comunidades de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda por la Universidad Autónoma de Querétaro y colaboradores. Diseño de Jessica Daniela Ramírez Santana

lo que ha sido en el pasado. El agua se almacena en tanques de ferrocemento, que son relativamente sencillos de construir a bajo costo y por personas de todos los niveles de la sociedad. El hecho de que sean asequibles significa que la tecnología está disponible para los hogares; sin embargo, se recomienda encarecidamente la supervisión de un maestro albañil durante la construcción para garantizar que los materiales de construcción sean de buena calidad.

Las ventajas de los sistemas domésticos de recolección de agua de lluvia con tanques de ferrocemento son la disponibilidad de suministro de agua cercano a la casa y el bajo costo. La técnica de construcción es sencilla. Al ser alimentados por gravedad, los sistemas no requieren energía para operar y son fáciles de mantener. Una desventaja es que la cantidad de agua que se puede recolectar dependerá del área del techo, además de que el costo inicial para instalar todo el sistema puede ser alto para que lo cubra una sola familia. Sin embargo, el costo de los tanques de otros materiales de la misma capacidad es mayor. Se pronostica que el cambio climático conducirá a períodos de sequía más largos alternados con lluvias muy intensas en períodos de tiempo muy cortos, lo que representará nuevos desafíos en el futuro. En este sentido, la CEACOM-UAQ considera que los tanques de ferrocemento son una tecnología socialmente relevante. Al colaborar en su construcción, los miembros de la comunidad adquieren habilidades técnicas y organizativas, y fortalecen el entramado social.

Antes de la instalación de los sistemas de captación de agua de lluvia, las comunidades experimentaron períodos de escasez. El agua tenía que ser acarreada desde lugares alejados de los hogares o se trasladaba en pipas a un costo considerable. Esto significaba que era común que los hogares no tuvieran jardines. Sin embargo, cuando se instalaron sistemas de recolección de agua de lluvia, en los hogares la gente comenzó a cultivar sus propios alimentos. Las oportunidades para conservar agua y garantizar su suministro a huertos familiares mediante el tratamiento de aguas residuales aumentarían enormemente con humedales construidos. Esta estrategia es parte del enfoque CEACOM-UAQ para promo-

ver la seguridad alimentaria y la independencia en las comunidades de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda.

Durante la estación seca, en los techos se acumula polvo, material vegetal y otros restos que pueden contaminar el agua. Por lo tanto, es recomendable limpiar el techo antes de la temporada de lluvia y poner el agua de las primeras lluvias en recipientes separados, por ejemplo, para usar en los huertos. El agua recolectada durante las lluvias posteriores será más limpia y debe almacenarse para otros fines, como beber y cocinar. Además, se puede instalar una serie de filtros para limpiar el agua. Aunque esto representa un gran beneficio, el costo puede ser una limitante. También es recomendable crear mecanismos de vigilancia comunitaria para mantener las cisternas y evitar su deterioro. Una forma de hacerlo sería organizar reuniones anuales para discutir temas relacionados con la calidad y el suministro del agua, identificar problemas y acordar medidas para su reparación y mejora.

¿Cómo puedes proteger tu tanque?

Mediante el uso de una mezcla de baba de *Opuntia* spp. (nopal) con cal y sal, un método verde tradicional prehispánico, se protegen las paredes exteriores de la cisterna de los elementos naturales.

Condensadores de humedad atmosférica o captadores de niebla.

En las partes altas de la Sierra Gorda se han instalado con éxito trampas de niebla (condensadores de humedad atmosférica) como estrategia de captación de agua (Fig. 16). El captador de niebla es un sistema de condensación de la humedad atmosférica que utiliza una malla colocada entre dos postes instalados con tensores y con un canalón en la parte inferior. El agua recolectada es llevada a un recipiente para su almacenamiento. Este sistema funciona cuando la humedad relativa es de alrededor del 100%. El captador de niebla es una tecnología asequible, amigable con el medio ambiente, durable, fácil de instalar y con bajo costo de mantenimiento. Un captador de niebla de 48 metros cuadrados

cuesta aproximadamente 400 dólares y atrapa hasta 144 litros por día. La calidad del agua dependerá de las condiciones de la superficie de contacto y de la composición del aire.



Figura 16. Recolección de agua con redes en Cuatro Palos, Pinal de Amoles, 2,600 m s.n.m. Créditos de María José Pérez Aguas



Cisterna de ferrocemento de un sistema de colecta de agua de lluvia en Cuatro Palos, Pinal de Amoles

Biodiversidad

La biodiversidad se puede definir como el número de especies que ocupan un lugar en un momento dado. México se encuentra entre los doce países más diversos del mundo, que combinados contienen alrededor del 70% de la diversidad del planeta. México tiene seis zonas ecológicas: 1) tropical cálido húmedo, 2) tropical cálido subhúmedo, 3) templado húmedo, 4) templado subhúmedo, 5) árido y semiárido, y 6) zona inundable. Al encontrarse en la zona de transición entre el norte seco y el sur húmedo y con elevaciones que oscilan entre los 700 y los 3,000 m, Querétaro ejemplifica la diversidad paisajística y biológica de México. Dada la naturaleza kárstica de la Sierra Gorda, los manantiales y ríos son más abundantes, entre los que se encuentran (de norte a sur) los ríos Concá, Ayutla, Jalpan, Hongos, Tanculín, Extoraz y Moctezuma. Los ambientes lénticos (aguas estancadas) son menos frecuentes, siendo la presa de Jalpan el ejemplo más grande.

Los ambientes acuáticos de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda son estrictamente de agua dulce. El grado de deterioro debido a las actividades humanas varía de manera considerable. Hay áreas relativamente poco afectadas, con agua limpia y vegetación compuesta por especies nativas. Sin embargo, para su mala fortuna, la mayoría de los ambientes en la Sierra han sido muy afectados. Entre los impactos se encuentran la infraestructura humana, la erosión de los bordes del cauce de los ríos, la pérdida de vegetación natural, la eutrofización (contaminación de agua por exceso de nutrientes) y la invasión por especies introducidas.

Varios grupos de organismos acuáticos no han sido estudiados en la Sierra Gorda, entre los cuales se encuentran hongos, musgos y anfibios. Existen al menos inventarios parciales de algas, plantas vasculares, insectos y peces. Dado que el área ha sido poco estudiada, podemos suponer que habrá nuevos descubrimientos en la Sierra Gorda. Es importante tener en cuenta que varias especies son intermitentes, por lo que los estudios continuos son esenciales en esta área.

Algas. Las algas siempre están asociadas al agua, flotan o se adhieren a rocas y plantas. Todas son productoras primarias importantes y algunos géneros (como *Chroococcus*, *Merismopedia* y *Oscillatoria*) son indicadores de eutrofización, es decir, crecen rápidamente en ambientes ricos en nutrientes. En total se han encontrado 47 géneros y 102 especies en la Sierra Gorda.

Plantas vasculares. Estos organismos incluyen varias formas de vida y tienen diferentes grados de dependencia del agua. Entre ellos se encuentran los árboles asociados a los ríos (bosque ribereño), que son ecológicamente importantes ya que retienen las riberas, evitan deslizamientos de tierra y mantienen el agua sombreada y fresca, para que las malezas acuáticas no puedan obstruir los cauces de agua. Los árboles purifican el agua absorbiendo nitrógeno y fósforo, proporcionan alimento, madera y refugio para la fauna. En la Sierra Gorda se han encontrado 30 especies de árboles de diez familias botánicas diferentes, siendo los "amates" (higos y moreras utilizados tradicionalmente para hacer papel a base de corteza) y los "matapalos" (higos estranguladores) los más diversos con diez especies. Las demás plantas vasculares asociadas a ambientes acuáticos no forman estructuras leñosas como troncos y ramas; a menudo se encuentran a lo largo de las orillas de arroyos, ríos y lagos. Estos incluyen helechos, de los cuales hay tres especies en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, y plantas con flores de las cuales hay 31 especies. Estas plantas depuran y oxigenan el agua, albergan fauna y son las principales productoras primarias de biomasa. Desafortunadamente, este grupo también incluye especies invasoras que causan problemas muy serios como la acumulación de materia vegetal, la desecación y sedimentación de los cuerpos de agua y el desplazamiento de otras especies. También pueden actuar como vectores de enfermedades.

Insectos. Los insectos acuáticos varían en su dependencia del agua. Pueden ser completamente acuáticos durante todo su ciclo de vida, como algunos escarabajos, pero otros solo pasan parte de su ciclo de vida en el agua, como las libélulas. En la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda se encuentran colémbolos, efémeros, libélulas, moscas de las piedras,

chinches, neurópteros, escarabajos, moscas, tricópteros, polillas, abejas y avispas. Los insectos son diversos y abundantes y pueden ser utilizados como indicadores del deterioro y conservación de los ambientes acuáticos.

Peces. Los peces son los vertebrados más visibles en el agua y han servido como fuente de alimento y artefactos desde la presencia de las primeras culturas humanas. También sirven como indicadores ambientales para los que tienen importancia económica, sociocultural y científica. En la Sierra Gorda existen trece especies nativas, además de seis especies exóticas como la carpa, que fueron introducidas a propósito como fuente de alimento o accidentalmente por el comercio de especies ornamentales.

Aves acuáticas. Las aves en México pueden ser residentes (presentes durante todo el año) o migratorias (presentes solo durante ciertas épocas del año). Entre estas últimas destacan las aves acuáticas que migran desde Estados Unidos y Canadá a México y se quedan o migran por México durante el invierno. El embalse de la presa Jalpan ya era reconocido como un importante refugio de aves acuáticas desde hace varias décadas, pero desde 2016 registros sistemáticos reportan la ocurrencia de 192 especies de aves, 65 de las cuales son acuáticas. Esta diversidad ahora está siendo protegida por la designación del lugar como Sitio Ramsar (#1352). Entre las aves acuáticas destacan el pato mexicano, los cormoranes y las garcillas buayeras.

Especies bandera

El término “especies bandera” se refiere a animales o plantas que atraen la atención del público en general porque son hermosos o tienen un significado cultural específico. Resaltar las especies bandera en este libro permite visibilizar la riqueza de biodiversidad existente en la Sierra Gorda y, en ese sentido, la importancia de generar estrategias adecuadas para el manejo y tratamiento del agua, así como de los humedales.

En la Sierra Gorda, las especies emblemáticas incluyen la guacamaya verde, que ya está protegida por leyes estatales y federales, así como internacionalmente. La guacamaya verde no es una especie propia de un humedal, pero depende de un ambiente biodiverso y rico en especies. Este libro propone algunas importantes especies de humedales como “especies bandera de Sierra Gorda”: el pato mexicano, las salamandras endémicas y los nenúfares.

- ✿ El pato mexicano (*Anas diazi*) alguna vez se consideró una subespecie de pato real, pero desde 2021 se reconoce como una especie diferente. Tiene su distribución principal en América Central y el Caribe (ver <https://www.audubon.org/field-guide/bird/mexican-duck>). Se encuentra en invierno en la Sierra Gorda, especialmente en reservas (Fig. 17).
- ✿ El ajolote serrano (*Ambystoma velasci*) es una salamandra endémica del altiplano central de México que vive en los estados de Hidalgo, Guanajuato, Puebla y Querétaro. Esta especie es considerada como un indicador de agua limpia.
- ✿ El nenúfar (*Nymphaea ampla*) es una planta perenne de aguas tranquilas que se encuentra en América Central y del Sur, desde Texas hasta Perú. En la Sierra Gorda se ubica alrededor de Jalpan de Serra y Arroyo Seco (Fig. 18). Esta planta tiene un tallo enterrado en el lodo que produce hojas anchas que flotan en la superficie del agua. Grandes y vistosas flores blancas emergen entre las hojas y son polinizadas por escarabajos.

Usos de la biodiversidad en la gestión del agua y los humedales

Los organismos de los humedales son muy importantes para satisfacer las necesidades humanas. Entre los más evidentes se encuentran la propia presencia de agua limpia, alimentos en forma de peces, crustáceos, insectos, aves acuáticas (patos, gansos) y plantas acuáticas como el arroz y los berros. Los organismos de los humedales también ofrecen beneficios menos obvios como la purificación y oxigenación del agua, y tienen una belleza trascendental, como los manantiales arbolados.

Adicionalmente, producen materiales de construcción y para artesanías como la madera y el tule. Tal vez lo más triste es que la importancia de la biota acuática resalta cuando desaparece. Entonces los ríos se salen de su cauce por la falta de bosque de ribera, el agua se llena de algas verdes porque las plantas de la orilla ya no detienen los fosfatos y no hay pesquerías porque el agua está contaminada.

En resumen, la biota acuática proporciona alimentos esenciales, control de inundaciones, estabilización de canales y hábitat para la pesca o la caza de aves acuáticas. Los humedales sin biota pierden sus “servicios” proporcionados a los humanos, tales como su capacidad para limpiar el agua y proporcionar alimentos, así como su importancia cultural, recreativa y estética.



Figura 17. Pato mexicano (*Anas diazi*). Créditos de Ulises Torres.
Fuente: iNaturalist. <https://www.inaturalist.org/photos/61845034?size=original>



Figura 18. Nenúfar (*Nymphaea ampla*) en un manantial natural en Concá, Arroyo Seco

Promover el bienestar y crear conciencia

Es bien sabido que pasar tiempo al aire libre en entornos naturales es bueno para la salud física y mental. También se sabe que las personas se sienten atraídas por el agua: la mayoría de las personas disfrutan de caminar a lo largo de las orillas de los ríos y lagos o simplemente sentarse a contemplar el agua mientras disfrutan de un pícnic. Los humedales en particular promueven la salud y el bienestar de las personas. En la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda existen diversas oportunidades para desarrollar el ecoturismo de manera sustentable; por ejemplo, mejorando el agua del estanque y la vegetación. La educación pública,

los proyectos de divulgación y el desarrollo de áreas naturales pueden influir en gran medida en la gestión exitosa de ecosistemas y cuencas hidrográficas.

Ideas para divulgación y educación

- ✦ Organizar reuniones informativas periódicas.
- ✦ Promover evaluaciones de paseos por arroyos.
- ✦ Organizar proyectos de limpieza de desagües pluviales.
- ✦ Promover días de limpieza de cuencas hidrográficas y días de restauración de hábitats/siembra de plantas acuáticas.
- ✦ Coordinar actividades con escuelas.
- ✦ Instalar quioscos de información y sitios electrónicos.
- ✦ Distribuir presentaciones audiovisuales.
- ✦ Crear boletines y otros materiales impresos.

Ciencia ciudadana

La ciencia ciudadana, también conocida como monitoreo voluntario, es una investigación científica realizada, en su totalidad o en parte, por científicos no profesionales (aficionados). A través de la participación pública, podemos avanzar en la investigación científica y aumentar la comprensión de la ciencia por parte de la gente. La ciencia ciudadana es una forma maravillosa de ayudar a las personas a aprender cosas nuevas sobre el agua y los humedales.

Algunos beneficios de los proyectos de ciencia ciudadana

- ✦ Participación en la ciencia.
- ✦ Participación como individuo, clase, grupo o comunidad.
- ✦ Capacitación sobre métodos de recolección de datos.

- ✿ Proyectos que se ajustan a intereses, nivel de habilidad y disponibilidad de tiempo.
- ✿ La satisfacción de ayudar directa e indirectamente a los humedales y otros hábitats, animales y plantas.
- ✿ El placer de ser un científico ciudadano.
- ✿ ¡El descubrimiento de la ciencia como una aventura!

Un ejemplo clásico de investigación de ciencia ciudadana es la “Encuesta mundial de humedales”, dirigida por la Sociedad de Científicos de Humedales y colaboradores. Alrededor de 500 ciudadanos de todo el mundo ofrecieron información a los científicos sobre el estado de conservación o degradación de los humedales en más de 80 países diferentes, lo que dio lugar a un documento sobre la pérdida y degradación de los humedales a nivel mundial (resultados disponibles en https://world-wetland.network/our-work/world-encuesta_de_humedales/).

Los siguientes ejemplos de proyectos de ciencia ciudadana para la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda podrían involucrar al gobierno, las comunidades locales y las escuelas.

Proyecto 1 **Flujo de agua de manantiales naturales**

Los ciudadanos miden cuánto tiempo se necesita para llenar un recipiente con agua del manantial, luego calculan el flujo del manantial en volumen por unidad de tiempo, por ejemplo, litros por minuto.

- ✿ Repetir la medición periódicamente, por ejemplo, cada semana o cada mes.
- ✿ Construir gráficas y tablas con los datos. Incluir información sobre quién midió cada vez.
- ✿ Comparar datos dentro y entre años.

Esta información es una herramienta poderosa para ayudar a las comunidades a comprender la variación en el flujo de los manantiales y cómo los eventos externos podrían estar afectando este flujo.

Proyecto 2 Biodiversidad

Los ciudadanos cuentan especies en un ecosistema específico.

- ✦ Elegir un grupo de especies, por ejemplo, plantas, ranas, reptiles, pájaros o insectos.
- ✦ Determinar el tipo de ecosistema, por ejemplo, lago, manantial, río, estanque artificial.
- ✦ Decidir cuántos lugares de monitoreo y qué unidad de monitoreo debe usarse asociado al mapeo del plan de manejo de cuenca. Por ejemplo, monitorear una o más partes de un estanque y registrar cuántas plantas hay en un metro cuadrado. Repetir esto una o más veces por temporada o año.
- ✦ Crear una colección de materiales de referencia, por ejemplo, un herbario o una colección de insectos. No hay que preocuparse por los nombres de las especies. Recoger los organismos y mostrárselos a un científico más tarde.

Este proyecto es importante para comprender la biodiversidad local y los cambios a lo largo del tiempo.

Proyecto 3 Calidad del agua

Este proyecto evaluará los cambios en la calidad del agua. Los ciudadanos monitorean la calidad del agua en bordos, estanques, presas u otros cuerpos de agua.

- ✦ Monitorear el color del agua (usar una tabla de colores como referencia), la presencia de sedimentos de agua, el pH del agua (con cintas de pH) y la temperatura del agua, la presencia de microorganismos. Usar microscopios de bajo costo, por ejemplo, *foldscope*: <https://en.wikipedia.org/wiki/Foldscope>
- ✦ Dibujar los tipos de microorganismos.
- ✦ Repetir periódicamente, por ejemplo, cada semana o mes.
- ✦ Construir gráficas y tablas con estos datos. Incluir información sobre quién midió cada vez.
- ✦ Comparar datos dentro y entre años.

Proyecto 4 Uso del agua en el hogar

Los ciudadanos monitorean el uso del agua en su casa.

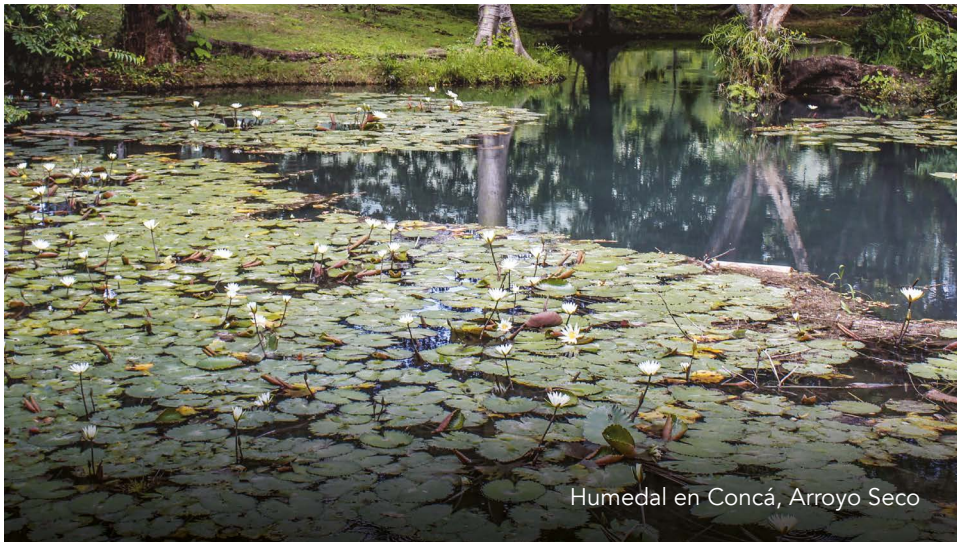
- ✦ Medir el flujo de agua en cada llave y regadera cronometrando los segundos necesarios para llenar un recipiente de 1 L con agua de la llave o la regadera.
- ✦ Medir cuánto tiempo dedica cada persona en el hogar a bañarse o lavar los trastes, luego multiplicar el flujo por el tiempo de uso. Primero calcular el caudal de agua específico de cada casa. Ejemplo para calcular la cantidad de agua utilizada en una regadera de 10 minutos:
 - Caudal de la regadera: $20 \text{ L/minuto} = 0.33 \text{ L/segundo}$
 - 1 baño dura 10 minutos
 - 1 baño por lo tanto usa $20 \times 10 = 200 \text{ L}$
- ✦ Construir una tabla con toda la información.
- ✦ Calcular cuánta agua se usa. Tener en cuenta la cantidad de personas que viven en la casa, la cantidad de baños por semana por persona, la duración de la regadera (en minutos).

Este proyecto creará conciencia sobre el uso del agua.

Oportunidades y necesidades laborales

Durante la expedición UAQ-Fulbright Specialist a la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda se identificaron oportunidades de trabajo en las comunidades, las cuales incluyen el establecimiento de plantas acuáticas en los bordes, la evaluación de los sitios de acceso para que el ganado beba agua evitando la contaminación y la erosión de los bordes de las orillas. También existe la necesidad de enfoques innovadores para los biofiltros que imiten lo más posible un pequeño humedal para tratar las aguas grises y poder usarlas para regar los huertos. Otra oportunidad es cultivar plantas de humedales con fines alimentarios, de construcción, de medicina popular y ornamentales.

La Reserva de la Biosfera Sierra Gorda se perfila como un destino turístico para quienes disfrutan de las actividades en la naturaleza y los espacios al aire libre, lo cual crea opciones de trabajo para las personas en la industria turística. Sin embargo, también es necesario mitigar los impactos negativos de este tipo de actividades. Esta región ofrece oportunidades para crear conciencia sobre la conservación y para el ecoturismo.



Humedal en Concá, Arroyo Seco



Sierra vista desde Cuatro Palos,
Pinal de Amoles

Posibles acciones para mitigar las amenazas

En primer lugar, es indispensable que todas las partes interesadas en la calidad y disponibilidad del uso sustentable del agua en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda se comuniquen entre sí. La población local debe unirse o de lo contrario no hay esperanza de mejorar la situación. Con esto en mente, se proponen las siguientes acciones a favor del agua y los humedales en la región.

Acciones mayores

- ✿ Crear una organización general que reúna a todas las partes interesadas, como individuos, grupos de interés, sociedades civiles, representantes de comunidades y líderes municipales, estatales y federales, incluidos líderes comunitarios (religiosos o tradicionales), para comunicar las formas sustentables de proteger y gestionar el agua y los humedales en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda.
- ✿ Organizar una conferencia sobre todos los temas relacionados con el agua y los humedales. El enfoque principal del evento deberá ser el desarrollo de la gestión sustentable del agua y los humedales, con el objetivo de asegurar la disponibilidad de agua y una calidad excepcional para el futuro.
- ✿ Restaurar y crear humedales. En este libro se han proporcionado algunas ideas.
- ✿ Educar a la gente sobre el uso del agua. Esto es particularmente necesario en áreas urbanas, donde las personas están acostumbradas a que el agua simplemente salga de un grifo y sea transportada después de su uso a través de los sistemas de alcantarillado. El público en general debe entender que el ciclo completo del agua es crucial para nuestra vida diaria y cómo los humanos son una parte integral de eso. Otro aspecto de esto es enseñar a las personas que el costo de los productos no se expresa solamente en términos de dinero, sino en términos del uso de agua empleada para producirlos (ver Energy-Water-Food Nexus y Water Footprint Network).

Acciones menores

- ✦ Seguir desarrollando métodos para recolectar y almacenar agua.
- ✦ Seguir desarrollando y reinstalar métodos para tratar las aguas residuales y buscar técnicas para mantener los sistemas.
- ✦ Instalar baños secos y sistemas sépticos en el hogar.
- ✦ Reutilizar agua tratada para riego de cultivos.
- ✦ Crear conciencia de la cantidad de agua que se utiliza para las actividades diarias, como la limpieza de la casa y el carro, el riego del jardín, el cuidado personal, etcétera.
- ✦ Reciclar, reutilizar y reducir.



Sauce (*Salix* spp.) sobre el río Santa María, Arroyo Seco



Área inundada con proliferación de macroalgas y lentejas de agua (*Lemna* spp.) cerca de Jalpan de Serra



Humedal cerca de Landa de Matamoros



Río Santa María, Arroyo Seco



Casa rural en la carretera camino a El Pocito, Jalpan de Serra





Vista de la Sierra Gorda
cerca de El Pocito, Jalpan de Serra





Ciprés mexicano o sabino (*Taxodium* spp.)
en un arroyo de Río Verdito,
Landa de Matamoros

CONCLUSIONES

Este libro tiene como objetivo crear una fuerte conexión con respecto al agua y los humedales entre la sociedad y la naturaleza en la Sierra Gorda y entre la Sierra Gorda y el mundo. Varias otras localidades, en particular las zonas áridas de gran altitud en todo el mundo, enfrentan problemas similares de gestión del agua y humedales. ¿Cómo es que las experiencias de la Sierra Gorda pueden contribuir a estos dilemas en diferentes regiones?

El mensaje más importante de la expedición de la Universidad Autónoma de Querétaro-Fulbright Specialist a la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda en 2021 es que todas las partes involucradas en los problemas relacionados con la calidad y disponibilidad del agua en la región deben encontrar representación en una organización, que puede ser un foro o comité, para tratar los problemas del agua en todos los niveles. La interrelación entre los seres humanos y el medio ambiente requiere el conocimiento científico sobre las cuestiones ambientales. Algunos problemas son enormes, como los efectos del cambio climático, otros son pequeños, como el tratamiento de aguas residuales de cada hogar. Las acciones menores, como recolectar todas las aguas residuales en un solo lugar para el tratamiento mediante un pequeño humedal y el uso posterior para huertos, son fáciles de llevar a cabo.

¡Proteger el agua y los humedales para el futuro es una prioridad para todos!



Caminos de la Sierra Gorda
en la carretera a Querétaro

LITERATURA RECOMENDADA

- ARROYO-QUIROZ, I. y Perez-Gil, R. (2007). *Human-wildlife interactions in the Sierra Gorda Biosphere Reserve, Mexico: annual report Y2*. México: Faunam.
Recuperado de: <https://www.rufford.org/projects/dr-ines-arroyo-quiroz-prof-ramon-perez-gil-salcido/human-wildlife-interactions-in-the-sierra-gorda-biosphere-reserve-mexico-a-first-survey/>
- AUSTIN, G. y Yu, K. (2016). *Constructed wetlands and sustainable development*. Londres: Routledge. ISBN: 9781138908994
- BEATTY, R. (2005). *Tierras cenagosas/Wetlands (Atlas de biomas/Biomes atlases)*. México: Uribe y Ferrari Editores. ISBN: 9685142815
- BIEBIGHAUSER, T.R. (2015). *Wetland restoration and construction: a technical guide*. EE.UU: Tom Biebighauser, 2da. ed. ISBN: 100983455813
- CONANP (2022). *Sistema de información, monitoreo y evaluación para la conservación*. Recuperado de: <https://simec.conanp.gob.mx/>
- FRANKLIN, Y. (2010). *Los Pantanos/Wetlands (Los biomas y Los Ecosistemas/Biomes and ecosystems)*. EE.UU.: Teacher Created Materials. ISBN: 1433321408
- GRUPO ECOLÓGICO SIERRA GORDA (2021). *Reserva de la Biósfera Sierra Gorda, MaB, UNESCO*. Recuperado de: <https://sierragorda.net/reserva-de-la-biosfera-sierra-gorda/>
- HIGGINS, N. (2017). *Humedales/Wetlands (Ecosistemas/Ecosystems)*. EE.UU.: Bullfrog Books. ISBN: 1620318032
- JONES, R. y Serrano, V. (editores). (2016). *Historia natural de Querétaro*. México: Universidad Autónoma de Querétaro. ISBN: 9786075132440
- KEDDY, P.A. (2022). *Wetland ecology: principles and conservation*. 2da. ed. EE.UU.: Cambridge University Press. ISBN: 0521739675
- LOBATO-DE MAGALHÃES, T., Otte, M.L. y Rocha-Mier, L. (2022). "Water and wetlands outreach project in the Sierra Gorda Biosphere Reserve, Mexico". *Wetland Science & Practice*, 40(1), 82-87.

- MARTÍNEZ, M. y García, A. (2001). "Flora y vegetación acuática de localidades selectas del estado de Querétaro". *Acta Botánica mexicana*, (54), 1-23.
- MIRELES, M.V. (2006). "El mundo de la Sierra Gorda". *Arqueología mexicana*, 13(77), 28-37.
- MITCH, W.J. y Gosselink, J.G. (2015). *Wetlands*. 5ta. ed. EE.UU.: Wiley. ISBN: 9781118676820
- PINEDA R., Díaz Pardo E. y Martínez M. (2009). *Biota acuática de arroyos y ríos (cuencas Lerma-Chapala y Pánuco)*. Manual de identificación. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro. ISBN: 9786077740254
- UN-HABITAT (2008). *Constructed wetlands manual*. Recuperado de: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UN%20HABITAT%202008%20Constructed%20Wetlands%20Manual.pdf
- US-EPA (1994). *A handbook of constructed wetlands*. Recuperado de: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/constructed-wetlands-handbook.pdf>
- _____. (2000). *Guiding principles for constructed treatment wetlands: providing water quality and wildlife habitat*. Recuperado de: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000536S.PDF?Dockkey=2000536S.pdf>
- _____. (2022). *Wetlands protection and restoration*. Recuperado de: <https://www.epa.gov/wetlands>
- VYMAZAL, J. (2022). "The historical development of constructed wetlands for wastewater treatment". *Land*, 11(2), 174. <https://doi.org/10.3390/land11020174>
- WATER FOOTPRINT NETWORK (2022). *Fair & smart use of the world's fresh water*. Recuperado de: <https://waterfootprint.org/en/>

SINOPSIS

La expedición UAQ-Fulbright Specialist a la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda que ha llevado a cabo nuestro equipo inspiró este libro. El proyecto destaca a Marinus L. Otte, profesor de la Universidad Estatal de Dakota del Norte, Especialista Fulbright y editor en jefe de *Wetlands*. Tanto el proyecto como la expedición fueron coordinados por Tatiana Lobato de Magalhães, profesora investigadora de la Facultad de Ciencias Naturales (FCN) de la Universidad Autónoma de Querétaro, presidenta del capítulo internacional de la Sociedad de Científicos de Humedales (SWS, por sus siglas en inglés) y editora asociada de *Wetlands* y *Aquatic Botany*. El equipo de la expedición incorporó a Alejandra Leticia Rocha Mier, coordinadora de Educación y Apoyo Comunitario de la Dirección de Vinculación (DV), y a Cristian Eduardo Rodríguez Jacinto, de Comunicación y Medios: camarógrafo y fotógrafo de la expedición. Tres estudiantes brindaron un apoyo invaluable: Lizeth Harzbecher, del posgrado en Ciencias Biológicas; Miguel Sarmiento, del posgrado en Gestión Integrada de Cuencas, y José Emiliano Plata Ramos, del pregrado en Antropología y fotógrafo principal de la expedición. Además, Mahinda Martínez, profesora de la FCN, e Itzel Sofía Rivas Padrón, coordinadora de Enlaces e Intervención Social de la DV, contribuyeron fuertemente al proyecto.

El proyecto “Capacitación en gestión del agua y humedales en diferentes sectores sociales: comunidades rurales, gobierno y academia/*Water management in a karstic rural impoverished environment, FSP-P006854*” consistió en talleres y cursos de formación, grabaciones de testimonios y materiales audiovisuales para un documental acerca de las percepciones sobre el agua y los humedales durante una expedición de ocho días, y se produjo además este libro.

SEMBLANZA DE LOS AUTORES

DRA. TATIANA LOBATO DE MAGALHÃES. Profesora investigadora de la Universidad Autónoma de Querétaro, México. Se ha especializado en ciencia y educación sobre humedales durante más de diez años, con un fuerte enfoque en ecología, genética y distribución de especies de plantas acuáticas. Actualmente es presidenta del capítulo internacional de la Sociedad de Científicos de Humedales (SWS, por sus siglas en inglés), editora asociada de las revistas científicas *Aquatic Botany* y *Wetlands*, miembro editorial de la serie de libros *Wetlands: Ecology, Conservation, and Management* de Springer, reconocida por el Sistema Nacional de Investigadores en México y certificada como Científica Profesional de Humedales por la SWS. Ha recibido la Medalla al Mérito Académico 2021 de la UAQ, la Medalla “José Mariano Mociño (1757-1820)” de la Sociedad Botánica de México y la 2018 Wetland Ambassadors Graduate Research Fellowship de la SWS.

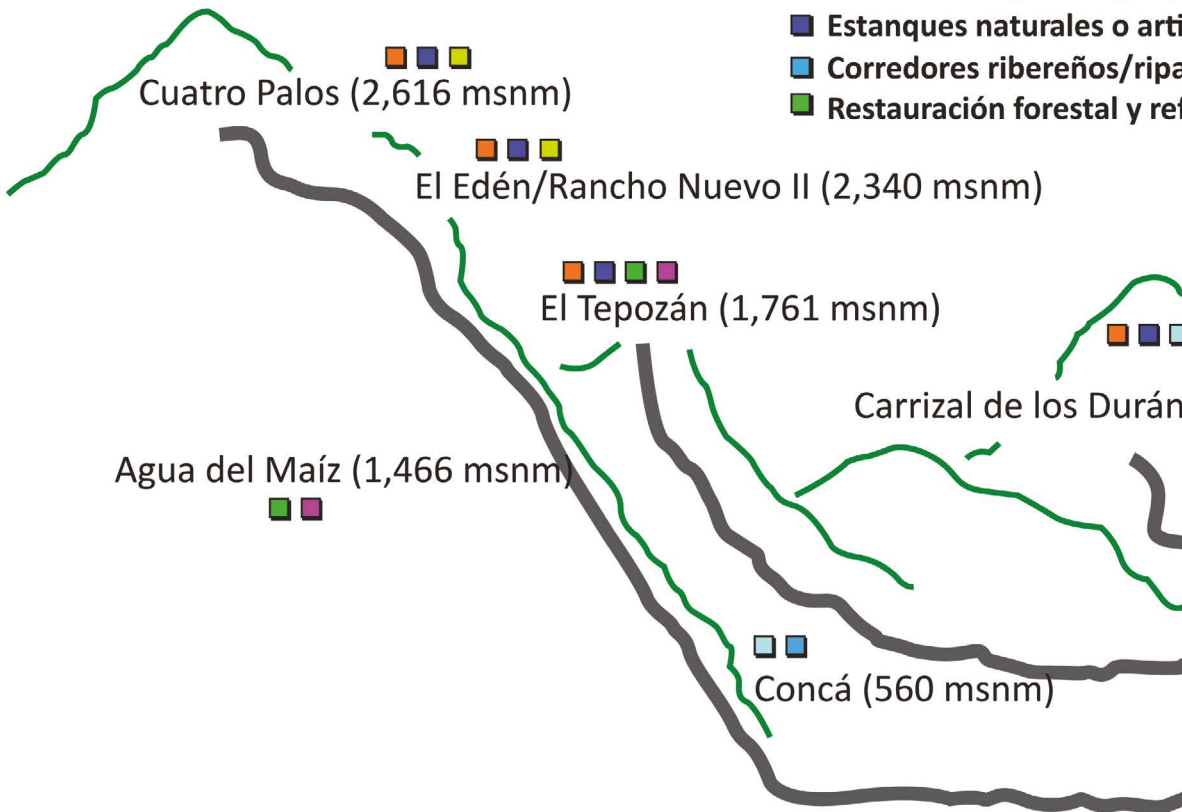
DR. MARINUS L. OTTE. Profesor de la Universidad Estatal de Dakota del Norte en Fargo, Estados Unidos. Se ha especializado en ciencia y educación sobre humedales durante más de treinta años, con un fuerte enfoque en la contaminación y la fitorremediación. Su trabajo incluye proyectos de investigación y enseñanza en varios países del mundo, incluidos los Países Bajos, Irlanda, Kirguistán, el noreste de China y Taiwán, varios estados de los Estados Unidos y, más recientemente, México. Ha sido editor en jefe de la revista científica *Wetlands* desde 2012 y ha publicado más de cien artículos revisados por pares.

Oportunidades en la Gestión Sostenible

Comunidades de la Reserva de la Biosfera

Perspectiva Natural

- Manantiales - reducción de contaminación
- Humedales - restauración (incluyendo terciario de aguas negras)
- Estanques naturales o artificiales
- Corredores ribereños/riparios
- Restauración forestal y reforestación



Perspectiva humana

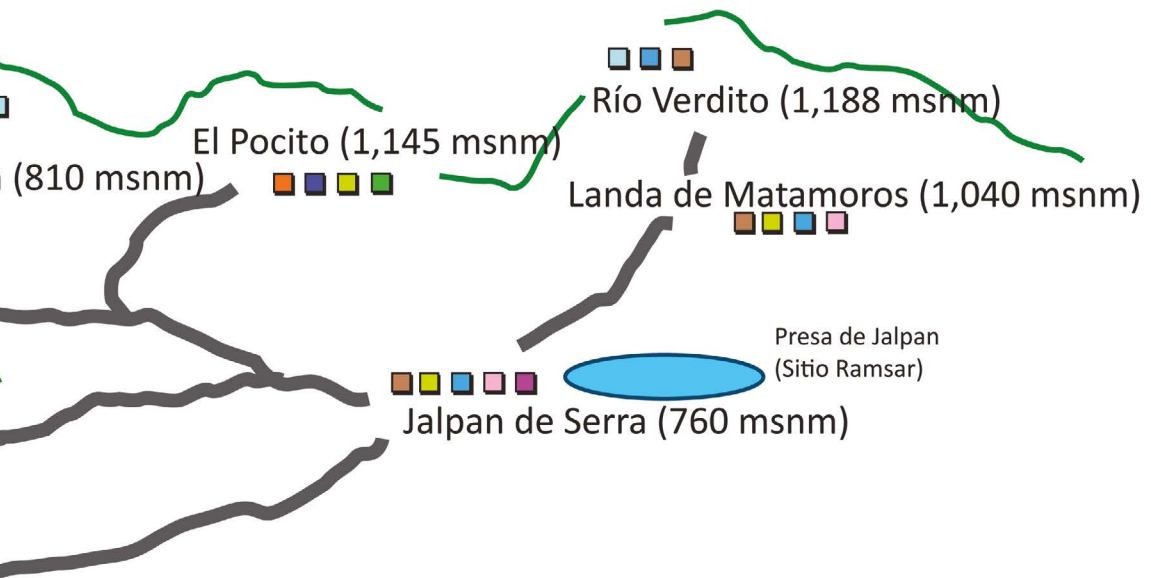
- Colecta de agua de lluvia - techos, redes
- Mejora del tratamiento de aguas residuales minicipales - infraestructura para drenaje, etc.
- Aspectos sociales - creación de un comité con participación de la población local
- Proyectos de Ciencia Ciudadana - monitoreo y educación

Plan de Manejo del Agua y los Humedales

Reserva de la Biosfera Sierra Gorda

Manejo de la contaminación, gestión de cuencas hidrográficas, ecoturismo,
conservación, ecoturismo, humedales construidos (tratamiento de aguas grises, tratamiento

de aguas residuales) - gestión ecológica, mejora de la biodiversidad, ecoturismo
de humedales - gestión holística
de humedales forestación



Contribución por parte de los usuarios

Dibujo esquemático sobre oportunidades.
Créditos de Marinus L. Otte
y Tatiana Lobato de Magalhães

La presente edición de
*Perspectivas sobre la gestión sostenible del agua y los humedales
en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, México*
fue maquetada por Alejandro Zamorano
en el Taller del Fondo Editorial
de la Universidad Autónoma de Querétaro.
El cuidado estuvo a cargo
de Gisella Cordero y los autores.
Se publicó en diciembre del 2022,
en Santiago de Querétaro, México.

Este libro tiene como objetivo crear una fuerte conexión con respecto al agua y los humedales entre la sociedad y la naturaleza en la Sierra Gorda y entre la Sierra Gorda y el mundo. Varias otras localidades, en particular las zonas áridas de gran altitud en todo el mundo, enfrentan problemas similares relacionados con la gestión del agua y humedales. ¿Cómo es que las experiencias de la Sierra Gorda pueden contribuir a la solución de estos dilemas en diferentes regiones?

