



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIOLOGÍA

**DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO DEL
RÍO CACALOTENANGO TAXCO, GUERRERO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

CASTILLO AVILES MONTSERRATH IRAIS

DIRECTORA: M. EN C. MARICELA ARTEAGA MEJÍA

JURADO DE EXAMEN

DR. ALBERTO MENDEZ MENDEZ

M. EN C. RAMIRO RIOS GOMEZ

M. EN C. MARIA BEATRIZ MARTINEZ ROSALES

BIOL. IRENE CASTILLO CHAIRES



CIUDAD DE MÉXICO

DICIEMBRE, 2023.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A mi pequeña gran familia,
por su apoyo y paciencia incondicional,
los amo.*

AGRADECIMIENTOS

A mi segunda casa, la Universidad Nacional Autónoma de México. En tus planteles crecí académicamente y conocí gente maravillosa que de alguna forma contribuyeron a formar la persona que soy, ¡siempre orgullosa de ser cchera! ¡siempre orgullosa de ser zaragozana!

A Lucia mi querida madre. Ni las palabras ni la vida me alcanzaran para agradecerte cada desvelo, esfuerzo y sacrificio, cada abrazo y palabra de aliento, tú más que nadie sabe lo difícil que ha sido concluir esta etapa. Aun así, lo escribo, mil gracias por dedicarnos un pedacito de tu vida y otro tanto de tu amor. Te amo muchísimo mami.

A Chucho. Hermanito en gran parte de mi vida tú me has motivado a hacer eso de lo que a veces no me creo capaz, gracias por apoyar la mayoría de mis caprichos y por tanta alegría que le das a mi vida, que nunca me falte tu compañía y cariño. Aún tenemos muchos sueños en común por cumplir. Love u Bobi.

A Ernesto. El papel de Padre en mi vida solo tú lo tienes, infinitas gracias por todo el apoyo, consejos, platicas, por siempre defendernos y depositar tu entera confianza en nosotros. Tú eres mi ejemplo por seguir y espero algún día poder darte un poco de lo mucho que has compartido con nosotros. Daniela mi tía fav, gracias por ser la compañera de este gran ser, por permitirte conocernos y por siempre compartimos parte de tu cariño, carisma y tiempo. Gracias por ser mi familia.

A Lucia. Abuelita muchísimas gracias por siempre preocuparte por nuestro bienestar, no eres una persona de muchas palabras, pero sabes demostrar cariño de otras formas, he aprendido muchas cosas de ti, gracias por tanta paciencia.

A Airy, Aydee, Jael y Priscila. Amigos sin duda sin ustedes, mi paso por la carrera no hubiera sido el mismo, gracias por las experiencias compartidas, por tanto tiempo dentro y fuera del aula, cada uno de ustedes me alegro la vida en momentos difíciles, y eso lo valoro muchísimo. Gracias por siempre estar, deseo que esta amistad perdure. Los quiero mucho.

A Maricela Arteaga. Maestra agradezco infinitamente la paciencia que me ha tenido, el tiempo y esfuerzo dedicado al desarrollo de este proyecto, gracias por tantas platicas repletas de aprendizaje y otros tantos consejos muy valiosos para mí. Sobre todo, agradezco todo el conocimiento compartido, para mí fue una experiencia muy grata haber desarrollado tan interesante tema con usted.

A Agustín Pineda Cordero. Gracias por siempre abrir las puertas al conocimiento, de la tan bonita Granja Didáctica - Ecológica “Dos Puertas”, cada esfuerzo dedicado a restaurar y mantener limpios los lugares contiguos al río Cacalotenango inspiran a seguir contribuyendo en el cuidado de los ecosistemas.

Al sínodo, Dr. Alberto Méndez, M. en C. Ramiro Ríos, M. en C. Beatriz Martínez y Biol. Irene Castillo, por el tiempo dedicado a la revisión y transmisión de observaciones que sin duda enriquecieron bastante este proyecto. Muchas gracias.

Finalmente, agradezco a las personas que en alguna etapa fueron parte de mi vida y de mis sueños, a muchas más que siguen estando Paola, Laurita y Víctor, gracias por su amistad, cariño, consejos y apoyo, desde lo más profundo de mi ser deseo que la vida los colme de éxito, buena salud, amor y felicidad.

“Mereces lo que sueñas”

-G. Cerati

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	7
1.INTRODUCCIÓN	8
2.MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 Caudal ecológico	11
2.2 Normativa nacional	11
2.3 Agua a reservar	11
2.4 Estado del arte de caudal ecológico en México	12
2.5 Metodologías disponibles	16
2.5.1 Método de simulación	16
2.5.2 Métodos holísticos	17
2.5.3 Métodos hidráulicos	18
2.5.4 Métodos hidrológicos	19
2.6 Objetivo ambiental	20
2.7 Volumen anual de agua a reservar	21
2.7.1 Recursos hídricos	21
2.7.2 Régimen hídrico y de caudales	23
2.7.3 Conservación y protección de los recursos hídricos	24
2.7.4 Ríos y su importancia a través de los servicios ambientales	25
2.7.5 Calidad del agua en ríos	27
2.7.6 Gestión de recursos hídricos	28
2.7.7 Gobernanza	28
3.PROBLEMÁTICA	31
4.JUSTIFICACIÓN	33

5.ZONA DE ESTUDIO	35
5.1 Estado de Guerrero	35
5.2 Taxco de Alarcón	35
6.CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y BIOLÓGICA.....	37
6.1 Fisiografía	37
6.2 Geología	37
6.3 Edafología	37
6.4 Clima	38
6.5 Hidrología superficial y subterránea	38
6.6 Uso de suelo y vegetación	39
6.7 Fauna	40
6.8 Demografía	40
7.OBJETIVOS	41
7.1 Objetivo general	41
7.2 Objetivos particulares	41
8.MÉTODO	42
8.1 Fase de campo	42
8.2 Fase de gabinete	43
9.RESULTADOS Y SU ANÁLISIS	45
10.CONCLUSIONES	54
REFERENCIAS.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Caudal ecológico por cuenca. Valores medios anuales y porcentaje del escurrimiento medio anual</i>	13
Tabla 2 <i>Servicios ambientales e importancia</i>	26
Tabla 3 <i>Coordenadas de sitios de muestreo</i>	42
Tabla 4 <i>Caudal ecológico (Qecol) anual y régimen anual del río Cacalotenango (m³/seg)</i>	52
Tabla 5 <i>Caudal ecológico (Qecol) mensual y régimen mensual de estación hidrológica Tlaxmalac (m³/seg)</i>	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Régimen de caudal ecológico</i>	9
Figura 2 <i>Ubicación de la zona de estudio</i>	36
Figura 3 <i>Sitios de muestreo en el Río Cacalotenango</i>	43
Figura 4 <i>Objetivo ambiental</i>	45
Figura 5 <i>Climograma 2010-2019 Cuenca hidrológica del Balsas</i>	49

ANEXOS

Anexo 1 <i>Listado de especie presentes en el municipio de Taxco de Alarcón, Guerrero. Elaborado a partir de CONABIO, 2022.</i>	70
Anexo 2 <i>Presión de uso en la cuenca hidrológica del Balsas. Elaborado a partir de Estadísticas del Agua en México, ediciones 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.</i> 73	
Anexo 3 <i>Análisis de cambio de presión de uso en la cuenca Hidrológica del Balsas.</i>	74

RESUMEN

Izquierdo y Madroñero (2013) describen el caudal ecológico (CE) como la cantidad, calidad y régimen de flujos necesarios para mantener los ecosistemas de agua dulce y estuarinos, junto con los servicios que ofrecen. Se debe de considerar la competencia por los usos del agua y la participación de las comunidades que dependen de estos ecosistemas.

La finalidad de esta investigación fue analizar la importancia ecológica, la presión de uso del agua y la cantidad a reservar en la Región Hidrológica del Balsas (RHB) durante el período de 2010 a 2019. Mediante la determinación del CE se busca proponer medidas para la gestión, mantenimiento y protección del recurso hídrico en la zona. Asimismo, se realizó una revisión sistemática de información utilizando bases de datos de CONAGUA, INEGI, CONABIO, artículos científicos y la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012.

Los resultados indican que la importancia ecológica del sistema ambiental es alta, con una presión de uso muy alta, debido al déficit de 112.44 hm³ /año de agua renovable, 27.7 m³/hab/año de agua renovable *per cápita* y 125.44 hm³/año de escurrimiento medio anual, en general la RHB registró un déficit de 2427.829 Mm³/año en la disponibilidad y extracción del recurso hídrico presentando un estado de conservación deseado, caracterizado como deficiente. Se observó la presencia de tres especies de aves y cuatro de plantas respectivamente que, de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 están en peligro de extinción, 46 especies sujetas a protección especial y 28 amenazadas, clasificándola con un objetivo ambiental clase “D”.

La propuesta de CE para el período 2015-2019, basada en la aproximación hidrológica de gran visión, posibilitó asignar el 6% del caudal medio anual y un volumen mínimo de agua a reservar de 0.2569 m³/seg con finalidad ambiental. En contraste, los datos históricos de la estación hidrológica Tlaxmalac revelaron un volumen de 0.05834 m³/seg, indicando el nivel de deterioro del ecosistema y su impacto directo en la calidad de los servicios ecosistémicos. La determinación del CE proporcionó una comprensión de cómo el cambio de uso del suelo, la calidad y cantidad de la cobertura vegetal, el comportamiento de la precipitación, y la calidad y disponibilidad del recurso hídrico influyen en la conservación de los volúmenes de agua.

1. INTRODUCCIÓN

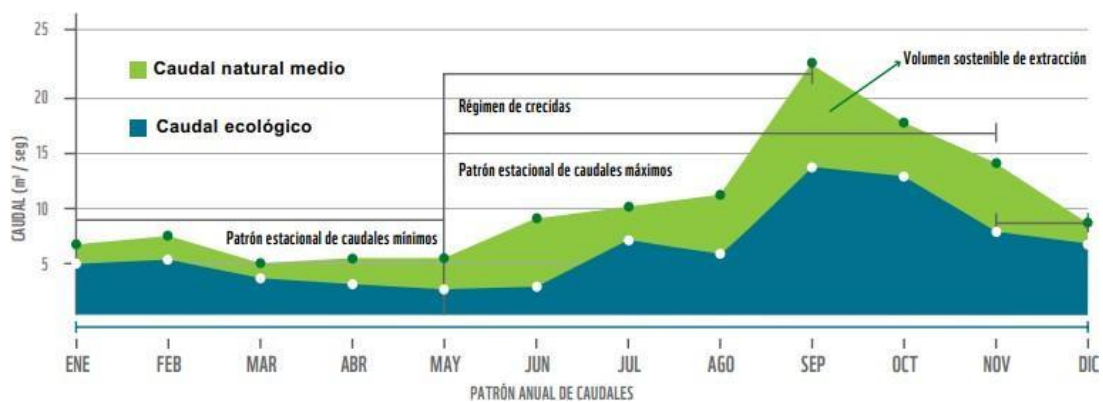
La problemática del agua dulce ha emergido como un tema crucial a nivel global. Todas las actividades humanas están de alguna manera relacionadas con el agua, y los desafíos asociados son tan diversos como los actores involucrados. En particular, México se enfrenta a problemas hídricos significativos que abordan aspectos como infraestructura, conservación, financiamiento, contaminación, distribución, equidad en el acceso, y gestión. Además, el país enfrenta una gran vulnerabilidad frente al cambio climático global, lo que resulta en la pérdida de biodiversidad en los ecosistemas acuáticos y de los servicios que proporcionan. Estos ecosistemas están estrechamente ligados al flujo y régimen hidrológico del agua, donde la disponibilidad de agua rige la vida y, paradójicamente, los ecosistemas también influyen en la disponibilidad, cantidad y calidad del agua (CEMDA, 2006).

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), establece 17 objetivos, siendo el objetivo 6 uno de los más relevantes para este estudio, ya que busca asegurar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y saneamiento para todos. En el marco de este objetivo, se plantean metas que incluyen la protección y restauración de los ecosistemas vinculados al agua (como bosques, montañas, humedales, ríos, acuíferos y lagos) para el año 2030. Otras metas relevantes son aumentar significativamente la eficiencia en el uso de los recursos hídricos en todos los sectores, garantizar la sostenibilidad en la extracción y suministro de agua dulce para abordar su escasez, y reducir considerablemente el número de personas sin acceso a agua, mejorando su calidad a través de la reducción de la contaminación, eliminación de vertimientos y minimización de la emisión de sustancias químicas peligrosas. Además, se busca reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales no tratadas y aumentar significativamente el reciclaje y la reutilización sin riesgos, entre otras metas cruciales (Naciones Unidas, 2018). La implementación del CE puede contribuir a la realización de estas metas.

La cantidad de agua necesaria para el funcionamiento del ecosistema en los ríos se conoce como CE. El propósito principal es restablecer la funcionalidad natural de los ecosistemas fluviales (Gómez y Piñeiro, 2018).

La gestión del recurso hídrico desempeña un papel clave en la utilización, manejo y preservación del agua, ya que considera la satisfacción de diferentes necesidades humanas y el desarrollo de estrategias que contribuyan a la conservación de sus características (Figura 1) (Izquierdo y Madroño, 2013), esto debe incluir las reservas de agua que representan límites sostenibles de oferta, fomentando el ahorro del recurso y la gestión de la demanda, reduciendo el riesgo de escasez y conflictos. También asegura la conectividad en toda la cuenca y respalda diversos servicios ambientales proporcionados por la conservación de los ecosistemas, como almacenamiento, conducción y suministro, mejora de la calidad y protección contra eventos extremos (WWF, 2009).

Figura 1



Régimen de caudal ecológico (WWF, 2010).

Las consecuencias de no gestionar adecuadamente el CE se hacen cada vez más evidentes ya que existe un incremento en la demanda del agua, un recurso que se está volviendo escaso para cubrir las necesidades humanas y del ambiente; es un problema complejo entre el uso y explotación de ríos, los ecosistemas río abajo y las comunidades que dependen de ellos (Casanova y Figueroa, 2015). Tenemos que tomar en cuenta que los hábitats y especies están física y biológicamente articulados por el flujo de agua y su régimen hidrológico. Las reservas de agua garantizan que estos ecosistemas cuenten con la cantidad

requerida para preservarse, ofrecer todos los beneficios ambientales asociados y adaptarse al cambio climático.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en colaboración con la Alianza del World Wildlife Fund (WWF) y la Fundación Gonzalo Río Arronte, ha identificado cuencas en México que cuentan con disponibilidad de agua y que, debido a su riqueza biológica, importancia ecológica y bajas presiones hídricas, son propicias para ser designadas como "Reservas de Agua". El propósito de estas reservas es garantizar flujos hídricos para la protección ambiental bajo los términos de la Ley de Aguas Nacionales (LAN). Previo a esta iniciativa, no existía ninguna normativa que estableciera la reserva de un volumen de escurrimiento en ninguna cuenca del país con fines de conservación ecológica. La resolución de esto se basó en la norma NMX-AA-159-SCFI-2012, que establece la determinación del CE y es válida en el país tanto para aguas en condiciones prístinas como para aquellas sometidas a una fuerte presión extractiva o ambiental. (De la lanza *et al.*, 2018).

El río Cacalotenango pertenece a la región geográfica de la cuenca del Balsas del estado de Guerrero; se ubica entre los municipios de Taxco, Buenavista de Cuéllar, Iguala, Teloloapan y Cocula; cuenta con una superficie de 373.1 km². Una de las actividades económica y ambiental de relevancia es la minería (El Fraile y Santa Rosa). Debido a su importancia se plantea la determinación del régimen del CE, con el fin de proponer medidas de mantenimiento y protección del recurso hídrico.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Caudal ecológico

El CE se refiere a la calidad, cantidad y patrón del flujo o cambios en los niveles de agua necesarios para mantener los elementos, funciones, procesos y la capacidad de recuperación de los ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen de procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales. (NMX-AA-159-SCFI-2012).

Esto implica que, además de abastecer agua para los usos domésticos, urbanos, ganaderos y agrícolas, es posible conservar flujos tanto de escurrimientos como de descargas de acuíferos para preservar los ecosistemas lóticos, lénticos y riparios. Con esta contribución al ecosistema, se busca mantener la biodiversidad y los servicios ambientales.

2.2 Normativa nacional

El 20 de septiembre de 2012, se hizo pública en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la Declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012. Esta norma establece el procedimiento para determinar el CE en cuencas hidrológicas. Representa un importante avance para la gestión y conservación de los ecosistemas fluviales, lacustres, lagunares y estuarinos en México, ya que fomenta la preservación del CE, buscando así mantener el equilibrio de los elementos naturales involucrados en el ciclo hidrológico (IMTA, 2012).

La norma señala que el reto es seleccionar el método más apropiado, siempre y cuando satisfaga dos principios fundamentales:

- 1) el régimen hidrológico natural y
- 2) el gradiente de la condición biológica-ecológica.

Así, ambos principios son incorporados en la NMX-AA-159-SCFI-2012 como una herramienta para la gestión del agua.

2.3 Agua a reservar

La reserva de agua destinada a la administración del medio ambiente es un instrumento legal (decreto) que asegura una cantidad de agua para la conservación ecológica en una cuenca hidrológica y se fundamenta en la aplicación de la NMX-AA-159-SCFI-2012, la cual permite establecer un equilibrio entre diferentes objetos de conservación, funciones sociales y niveles de presión sobre el recurso hídrico. Esta iniciativa se concretó con el establecimiento del Programa Nacional de Reservas de Agua (PNRA), Con la intención de instaurar un sistema nacional de reservas de agua destinado a la protección ecológica, se busca favorecer la gestión sostenible de los recursos hídricos y la adaptación temprana al cambio climático (Barrios *et al.*, 2015).

El PNRA ha logrado establecer 13 instrumentos en casi 300 cuencas del país. Esta cantidad representa la protección del 47% del agua superficial total de México fortaleciendo la conservación de 82 Áreas Naturales Protegidas (ANP) y 64 humedales de relevancia internacional (sitios Ramsar) al asegurar el agua necesaria para su función eco-hidrológica (Barrios *et al.*, 2019).

La CONAGUA en colaboración con la Alianza WWF y la Fundación Gonzalo Río Arronte realizaron un análisis de factibilidad para la implementación de reservas de agua en México, identificando las regiones del país con disponibilidad hídrica y características biológicas y ecológicas relevantes, así como presiones hídricas mínimas, presentando condiciones favorables para establecerlas como reservas que garanticen flujos para la protección ecológica y son conocidas como Reservas Potenciales de Agua (RPA) (CONAGUA, 2011b).

2.4 Estado del arte de caudal ecológico en México

La asociación entre la Alianza WWF y la Fundación Gonzalo Río Arronte (2010) desarrollaron las primeras propuestas de CE en México y se determinaron en las siguientes cuencas.

Cuenca del río Conchos en Chihuahua - Sobre concesionada cuya estrategia de implementación requiere la recuperación de agua, la optimización de la eficiencia en su uso y la adecuación de la operación de infraestructura hidráulica.

Cuenca de los ríos Copalita-Zimatán-Huatulco en Oaxaca - Por el contrario, en esta cuenca hay una muy baja cantidad de asignaciones y la herramienta de CE servirá para planear las futuras extracciones, así como para evitar condiciones irreversibles de deterioro.

Cuenca del río San Pedro Mezquital en Durango, Zacatecas y Nayarit - Cuenta con un estatus de veda y el CE representa una oportunidad de levantamiento selectivo de las restricciones de extracción y la instauración de zonas de reserva de agua.

En la elaboración de estas propuestas, se aplicó la metodología de construcción en bloques de tipo holístico, la cual incorpora conocimientos multidisciplinarios (hidrología, hidrogeología, geomorfología, biología y sociología, entre otros). Se estableció el CE en un promedio de 11 sitios en cada cuenca, a partir del volumen de escurrimiento superficial, las condiciones ecológicas del sitio y las necesidades de agua para los distintos usos. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos para cada cuenca como valores medios anuales y como porcentaje del escurrimiento medio anual. El volumen concesionado está relacionado con la presión de uso mientras que, el costo de CE se refiere a un gasto complementario que se tiene que adicionar en el caso de que el caudal no se reúna por completo en la transferencia de agua de las partes altas a las bajas de la cuenca.

Tabla 1

Caudal ecológico por cuenca. Valores medios anuales y porcentaje del escurrimiento medio anual (Barrios et al., 2010).

Cuenca	Escurrecimiento superficial (hm ³)	Volumen concesionado (hm ³)	Costo de caudal ecológico (hm ³)	Caudal Ecológico (%)
Río Conchos	2152	2 023	88	22
Ríos Copalita-Zimatán-Huatulco	1528	4.6	0	61
Río San Pedro Mezquital	3173	553	72	32

La sistematización de estas experiencias para calcular el CE en cuencas de diferentes condiciones hidrológicas del país ha permitido proponer un procedimiento para establecer una norma nacional para su determinación y su integración a los estudios de disponibilidad de agua en cuencas y acuíferos. Esto se realiza en conformidad con lo dispuesto en los artículos 14 (A nivel federal, "la Comisión" acreditará, fomentará y respaldará la organización de los usuarios para mejorar el aprovechamiento del agua y la preservación y control de su calidad, así como para promover la participación de estos a nivel nacional, estatal, regional o de cuenca) y 15 (La planificación hídrica es obligatoria para la gestión integrada de los recursos hídricos, la conservación de los recursos naturales, los ecosistemas vitales y el medio ambiente) de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) (Barrios *et al.*, 2010).

De acuerdo con De la Lanza y colaboradores (2012), mediante la metodología hidrológica con un alto conocimiento de la funcionalidad ecológica de los ecosistemas, se intenta reproducir los elementos más importantes de la hidrodinámica de la cuenca, como episodios de estiaje, crecidas y flujos máximos de caudal, en series de tiempo consecutivas: de 1993 a 2002 (10 años), de 1983 a 2002 (20 años) y el registro completo de 56 años, recolectados entre 1946 y 2002. Estos intervalos de tiempo dieron resultados similares, indicando que no solo en el río Acaponeta, sino posiblemente en otros ríos, las bases de datos de diez años podrían utilizarse de manera efectiva. En el caso del río Acaponeta, el agua que fluye y debe ser reservada con fines ambientales representó un 70.1% para 10 años, un 78.1% para 20 años y un 68.8% para períodos superiores a 50 años, con un promedio del 72.3% del caudal total o escurrimiento medio anual.

De la Lanza *et al.* (2014) estimaron el CE en el río Piaxtla, Sinaloa, utilizaron la metodología hidrológica. Al comparar bases de datos de escurrimientos de 36 y nueve años, se evidenciaron diferencias principalmente en la frecuencia de las máximas crecidas y sus orígenes, lo que indica la importancia de disponer de bases de datos que abarquen más de veinte años. No obstante, los resultados finales del cálculo del caudal ambiental fueron similares; es decir, reservar el 62.1% del volumen total del escurrimiento con un periodo de estudio de 36 años, y el 57.7%, tomando en cuenta nueve años de información. Esto

confirma que, para ríos con bases de datos de diez años, puede emplearse la metodología hidrológica indicada por la NMX-AA-159-SCFI-2012.

Meza *et al.* (2017), reporta la desecación de la desembocadura marina de la cuenca del Río Ayuquila-Armería, representado un obstáculo para las especies migratorias. Se ha elaborado una propuesta que sugiere un CE con distribución mensual, aplicando métodos hidrológicos y combinándolos con el método hidrobiológico, siguiendo las pautas de la normativa mexicana. Los métodos hidrológicos suman un volumen total de $1.088 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$, el método hidrobiológico estima un caudal mínimo ecológico de $4,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, indicando que en niveles de gasto por debajo de este caudal las “especie objetivo” no podrían sobrevivir debido al descenso del hábitat potencial útil. El resultado final es un régimen mensual de caudales, en la época de estiaje (noviembre-mayo) fue de 7% de reserva de agua, y para los meses más secos de marzo a mayo con 2%, caudales de $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en marzo, $4,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para abril y $4,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en mayo, asegurando la protección de la fauna acuática, en lluvias de junio a octubre con una reserva de agua de 41%, para alcanzar un caudal más elevado en septiembre con $105,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para mejorar la dinámica hidrológica y geomorfológica del río.

De la Lanza *et al.* (2018) obtuvieron el régimen de caudales ecológicos ordinarios estacionales con la “Aproximación Hidrológica Detallada” de la NMX-AA-159-SCFI-2012 en 17 ríos del Golfo de México y 11 del Pacífico.

Las cuencas del Golfo de México se destacaron por alcanzar un objetivo ambiental entre A y B (calificado como bueno a muy bueno). Esto se debe a su significativa importancia ecológica, que se refleja en una presión baja sobre el uso del agua, con la excepción de los ríos Bravo y Jamapa. Estos últimos presentan uno de los caudales ecológicos más bajos, resultado de una presión considerable, principalmente asociada a la actividad agrícola. No obstante, en el caso de las demás cuencas, se observa una presión hídrica menor, con un rango recomendado de CE entre el 47% y el 78%. Cabe destacar que el río Champotón es una excepción, ya que su CE fue de 20%

Los ríos en la costa del Pacífico exhibieron una deficiencia ambiental (D) en función de múltiples actividades humanas y una mayor presencia de represas. Esto resultó en una

reducción del flujo de agua, exacerbada por condiciones climáticas que oscilaron entre años secos y muy secos. Como resultado, se propuso que el rango recomendado para la conservación ambiental o CE oscilara entre el 4% y el 72%.

Según el progreso y los resultados del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024 hasta diciembre de 2020, el número de cuencas con CE destinadas a la protección de la biodiversidad alcanzó un total de 332, lo que supuso un aumento de 37 cuencas en comparación con las 295 registradas en 2019. Estas cuencas se consideran válidas incluso si el decreto correspondiente no ha sido publicado en el DOF, siempre y cuando cuenten con un cálculo de CE y una reserva establecida para uso ambiental o de conservación ecológica.

2.5 Metodologías disponibles

El primer acercamiento a los caudales ecológicos tiene su origen en los años 70's en Estados Unidos con el desarrollo de un método para identificar los caudales de desfogue de centrales hidroeléctricas para asegurar la presencia de peces de interés deportivo y comercial. A nivel internacional se han desarrollado más de 200 métodos, algunos son de muy rápida aplicación o de extrapolación, que requieren un mínimo o nada de trabajo adicional, mientras que otros requieren años de trabajo de campo y especialistas de diversas disciplinas. Las principales categorías de métodos se han clasificado por la forma en que se aproxima o aborda la problemática.

2.5.1 Método de simulación

Los métodos de simulación parten del criterio que la distribución y abundancia de cualquier especie no está influenciada por un único parámetro del caudal, sino que existen diferentes niveles de relación con todos los parámetros del caudal del río (Stalnaker y Arnette, 1976). Estos métodos se desarrollaron mediante programas y paquetes computacionales como PHABSIM, RHABSIM y RYHABSIM permiten obtener diferentes modelos de respuesta del tramo y la zona de estudio, pero en función de las condiciones específicas del sitio. Las variables de ingreso en los métodos de simulación se encuentran en función de las condiciones de referencia y la información disponible para identificar y caracterizar los

hábitats de las especies y cómo estos cambian según los escenarios hidrológicos (Jowett y Davey, 2007; Lamouroux *et al.*, 2010).

Esta metodología tuvo la intención de ser una herramienta para la toma de decisiones, diseñada para demostrar el impacto que tienen diferentes regímenes de caudales sobre los hábitats. Sin embargo, sus resultados son específicos y responden a una condición definida de los tramos de estudio, por lo que se considera que la extrapolación de sus resultados es una limitación para su implementación. Debido a que el modelo hidráulico consta de dos componentes principales, predice la profundidad y velocidad del agua en una sección transversal del cauce a partir de datos reales para un determinado caudal circulante. En cambio, el hábitat se modela al asignar un peso a cada celda en la que se divide la sección transversal. Este modelo emplea índices que otorgan un valor en el rango de 0 a 1 a cada uno de los parámetros de hábitat considerados (profundidad, velocidad, sustrato y cobertura). Estos valores indican la idoneidad de cada parámetro para la especie en cuestión, según la norma NMX-AA-159-SCFI-2012.

2.5.2 Métodos holísticos

Las metodologías holísticas surgen en Sudáfrica y Australia como una alternativa frente a la dificultad de aplicar métodos hidrológicos y de simulación, debido a la ausencia de información. Persiguen el mantenimiento de todos los componentes del ecosistema acuático a través del fomento de la interacción entre varias disciplinas. Estos métodos generalmente tienen dos aproximaciones distintas:

Método de Building Block - aproximación Bottom-up, se desarrolla con grupos de trabajo multidisciplinarios que toman en cuenta investigaciones ya realizadas, propiedades hidráulicas y evaluaciones de expertos. Un paso esencial implica la valoración de la importancia económica y social de la zona bajo investigación.

La descripción de cada uno de los componentes del flujo es considerada por Building Block, a partir de la conformación los requerimientos del flujo para una cuenca o río. Denominada Bottom-up el caudal recomendado se estima a partir de un flujo mínimo hacia valores más altos.

Benchmarking - aproximación Top-Down, El caudal se establece a partir de un flujo máximo aceptable hasta valores inferiores, utilizando información disponible, modelos conceptuales y la opinión de expertos. Se identifican indicadores hidrológicos que tienen relevancia ecológica. Estos indicadores se utilizan para caracterizar los cauces seleccionados dentro de un río designado como referencia. En estos cauces, no necesariamente hay un flujo natural, pero abarcan diversos tipos y niveles de flujo presentes en la cuenca. Luego, se investiga los impactos ecológicos en estos lugares en relación con cambios en el flujo hídrico, con el objetivo de determinar cuánto puede cambiar el flujo del agua antes de que se degrade el ecosistema. (Domínguez y Rodríguez, 2005).

En el 2010, los científicos forjadores de los principales métodos hidrológicos y holísticos que se usan en la actualidad propusieron un marco referencial para determinar caudales ecológicos mediante la Evaluación de los Límites Ecológicos de Alteración Hidrológica (ELOHA). Esta metodología se resume en cuatro pasos del proceso científico que se retroalimenta mediante el monitoreo del proceso social.

1. Fundamentación hidrológica
2. Clasificación de los tipos de ríos con base en los fundamentos hidrológicos
3. Alteraciones del caudal con base a los tipos de ríos.
4. Relaciones ecológicas con el caudal

Los resultados del paso cuatro conforman Estándares del Caudal Ambiental que se llevan a implementación y mediante el monitoreo se revisa de nuevo en el proceso científico (Poff *et al.*, 2010).

2.5.3 Métodos hidráulicos

Los métodos hidráulicos fueron concebidos como un instrumento de estimación de la proporción de cambio morfológico de los ríos naturales según el caudal. El más conocido es el Método de Montana que evalúa variables morfológicas como la velocidad, profundidad, ancho y tipo de sustrato y sus respuestas a rangos porcentuales del caudal promedio. Las relaciones se obtuvieron mediante el registro fotográfico de los cambios del río bajo un evento de crecida y a través de regresiones estadísticas se obtuvieron las

relaciones entre los porcentajes de cambio del caudal promedio y las condiciones físicas del lecho del río. A partir de estas relaciones, se estimó que la combinación de dichas condiciones también permitía estimar la presencia de hábitats en el río.

La información generada por el Método Montana es la base que utilizó Tennant (1976) en el desarrollo del método hidrológico y forma parte de los principios hidráulicos de los métodos de simulación (Jowett, 1997).

En México, se ha empleado la metodología de Montana para determinar caudales sugeridos en la evaluación de impacto ambiental causado por infraestructuras hidráulicas. Se han adaptado el método para áreas tropicales, considerando variaciones climáticas trimestrales anuales con el objetivo de simular fluctuaciones en el caudal a lo largo del año (García *et al.*, 1999).

2.5.4 Métodos hidrológicos

Los métodos hidrológicos se han desarrollado como índices a partir de la curva de permanencia de caudales y la información del régimen natural (Richter *et al.*, 1996). El método de Tennant tiene su origen en criterios y relaciones eco hidrológicas a través del análisis contundente de información hidrológica histórica y del trabajo de ictiólogos expertos en especies comerciales y deportivas. Los criterios cualitativos sobre la presencia de hábitats y con ellos la de peces, se transformaron en criterios cuantitativos sobre rangos porcentuales del caudal medio mensual que podría mantener dichas condiciones. Los principales hallazgos de Tennant (1976) que han sido utilizados como referentes para la implementación del régimen de CE son:

- El 60% del caudal medio provee condiciones óptimas para la vida acuática durante sus períodos iniciales de crecimiento y para la mayoría de las actividades de recreación.
- El 30% del caudal medio es recomendado como caudal base para mantener condiciones aceptables para la vida acuática y para la recreación.
- El 10% del caudal medio es el mínimo caudal instantáneo recomendado para mantener a corto plazo los hábitats para la mayoría de las especies acuáticas.

En un esfuerzo por replicar la variabilidad hidrológica natural, los numerosos ejemplos de aplicación de este método tienen en común la estimación de un régimen de caudales que conserve los hitos del régimen natural: crecidas, estiaje, pulsos, etc.

2.5.4.1 Aproximación metodológica propuesta por la Alianza WWF – Fundación Gonzalo Río Arronte

Esta aproximación forma parte de uno de los tantos métodos hidrológicos para Establecer el régimen de CE en ríos o cuerpos de agua del país al nivel de la cuenca hidrológica y cuenta con dos aplicaciones (NMX-AA-159-SCFI-2012).

Aplicación 1. Utilización de valores de referencia

Dirigida a ríos o masas de agua del país a nivel de la cuenca hidrológica, con el propósito de preservar su patrón hidrológico original para reservar un volumen de agua destinado a usos ambientales y a la conservación ecológica según lo establecido en la LAN.

Aplicación 2. Aproximación hidrológica detallada

Utilizada en tramos donde se ubiquen infraestructuras hidráulicas (presas o desviadores) o puntos de captación de agua (pozos), que tengan un impacto significativo en el patrón hidrológico de ríos o cuerpos de agua nacionales y, por ende, en los ecosistemas acuáticos. asociados. El propósito es preservar, recuperar o reconstruir el régimen hidrológico actual basándose en el patrón hidrológico natural. En todos estos casos será necesaria la determinación detallada de un régimen de caudales ecológicos.

Para ambas aplicaciones se requiere de la identificación del objetivo ambiental correspondiente al sitio de estudio conforme al apéndice normativo A de la NMX-AA-159-SCFI-2012.

2.6 Objetivo ambiental

El objetivo ambiental representa el estado ecológico de conservación que se pretende alcanzar en la cuenca hidrológica, establece la relación entre su valor de conservación (importancia ecológica) y su implicación en los usos productivos del agua (presión de uso).

En términos de la NMX-AA-159-SCFI-2012, un objetivo ambiental A corresponde a una cuenca con baja presión hídrica y muy alta importancia ecológica, por el contrario, una cuenca con objetivo ambiental D corresponde a cuencas con una fuerte presión hídrica, generalmente sobreexplotadas, y con baja importancia ecológica, generalmente por sus condiciones de deterioro. Es decir, una cuenca con una reserva potencial de agua tenderá a registrar un objetivo ambiental “A”, pero con las perspectivas de incremento de la demanda podría pasar a un objetivo B, C, o D, siempre y cuando se mantengan las condiciones ecológicas asociadas a cada uno (Barrios *et al.*, 2015).

El cálculo del CE se realizará considerando el objetivo ambiental identificado, ya sea en arroyos, en distintos tipos de cuerpos receptores o como parte de la liberación natural de un acuífero. Este caudal debe ser preservado con el fin de salvar las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema. (NMX-AA-159-SCFI-2012).

2.7 Volumen anual de agua a reservar

La cantidad de agua a reservar establece límites sostenibles para la oferta de agua, promoviendo la eficiencia en el uso del recurso y la gestión de la demanda. Esto reduce el riesgo de escasez y conflictos relacionados. Además, asegura la conectividad de la cuenca y respalda diversos servicios ambientales derivados de la conservación de los ecosistemas, como almacenamiento, conducción y suministro de agua, así como la mejora de su calidad y la protección contra eventos extremos. Requiere la planeación y manejo conjunto de aguas subterráneas y superficiales, especialmente en zonas con baja disponibilidad (WWF, 2009).

2.7.1 Recursos hídricos

Dentro del patrimonio natural del Estado, los recursos hídricos se destacan como bienes naturales de dominio público, abiertos y accesibles para cubrir la necesidad fundamental de la humanidad (Muñoz, 2019). La LAN, difundida en el DOF el 1 de diciembre de 1992 y reformada el 11 de mayo de 2022 es el máximo ordenamiento jurídico en materia de aguas continentales que tiene su origen en el artículo 27 constitucional, relativo al aprovechamiento del agua y sus bienes. Algunas de las aportaciones principales de la LAN

son: el ajuste de los elementos institucionales que fomentan la gestión integral del recurso y fortalecen a la CONAGUA como la única autoridad ejecutiva en este ámbito; el ajuste de un marco jurídico vinculado a las concesiones y asignaciones con el fin de eliminar las prácticas burocráticas que dificultan el proceso de solicitud y la emisión de títulos; el establecimiento del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) no solo proporciona una mayor protección legal a los usuarios acreditados, sino que también facilita la realización de transferencias de derechos y alteraciones en el uso del agua, así como modificaciones y adecuaciones que se requieran; la propuesta de desarrollar nuevos modelos de financiamiento a través de contratos y concesiones con el fin de edificar, gestionar y ofrecer servicios en la infraestructura pública a nivel federal. Además, la creación de consejos de cuenca hidrológica, que forman la unidad fundamental para la gestión del recurso hídrico. El objetivo de esta legislación es regular la explotación, utilización o aprovechamiento, así como la distribución y supervisión, junto con la preservación de la cantidad y calidad del recurso, con el fin de alcanzar un desarrollo integral sostenible. Sin embargo, desde la década de 1970 ha aumentado notablemente el número de acuíferos sobreexplotados: en 1975 eran 32 acuíferos, 80 en 1985, actualmente existen 408 acuíferos con disponibilidad de agua subterránea y 245 sin disponibilidad. El volumen total anual de recarga a los acuíferos se estima en 92.3 km³/año, en tanto que 32.9 km³/año se extraen del subsuelo para fines agrícolas (70.4%), suministro público (22.2%), población rural (2%), industria (6.1%) y generación de energía (1.4%). (Ortiz, 1993; IMTA, 2022).

La implementación del CE gana importancia desde que surgió la LAN y su reglamento, así como la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), ambas implantan la necesidad de considerar un caudal en los ríos para mantener el equilibrio ecológico. Específicamente los artículos 7 BIS fracciones V (La atención preferente de la problemática hídrica en localidades, acuíferos, cuencas y regiones hidrológicas con escasez) y XI (La sustentabilidad ambiental y la prevención de la sobreexplotación de los acuíferos) y artículo 41 (“El Ejecutivo Federal podrá declarar una reserva total o parcial de aguas nacionales para los siguientes propósitos: ... fracción III. Asegurar flujos mínimos para la protección ecológica, incorporando la conservación o restauración de ecosistemas

vitales”), que reconocen la importancia de establecer flujos mínimos para la protección, conservación y restauración de ecosistemas vitales.

2.7.2 Régimen hídrico y de caudales

El régimen de caudales ecológicos se presenta como una herramienta dentro de la administración del agua. Su fundamento radica en el principio ecológico del régimen natural y el gradiente de la condición biológica. Su objetivo es establecer un patrón que garantice el sustento de los ecosistemas, los usos del agua y las necesidades de almacenamiento a lo largo del año (NMX-AA-159-SCFI-2012). En este sentido, el CE ha venido ganando terreno como un instrumento de gestión que permite el manejo integrado y sostenible del recurso hídrico, entendido como un procedimiento que promueve el desarrollo y manejo coordinado del agua, tierra y los recursos relacionados en una cuenca, con el propósito de optimizar el bienestar económico y social equitativamente, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales (GWP, 2000).

Los elementos que determinan un régimen de caudales y que regulan los procesos ecológicos en los sistemas acuáticos incluyen la magnitud, frecuencia, duración, predictibilidad y tasa de variación (Walker *et al.*, 1995).

La modificación en la intensidad y frecuencia de los flujos extremos de agua, causada por las variaciones repentinas en los caudales en proyectos hidroeléctricos, tiene efectos perjudiciales en el ecosistema. Diversas investigaciones indican que resulta mortal para numerosos organismos que son arrastrados durante los picos de caudal o quedan aislados en los caudales mínimos (Cushman, 1985).

La extensión del periodo de caudales bajos limita los espacios habitables, incrementa la concentración de organismos acuáticos (Cushman, 1985), disminuye la protección brindada por la cobertura vegetal (Taylor, 1982) y rompe la conexión entre el lecho del río y sus márgenes (Ward y Stanford, 1979). El alargamiento de la fase de inundación transforma la composición del bosque ribereño y reduce las zonas de corrientes rápidas esenciales para la vida (Bogan, 1993 tomado de Diez, 2005).

Una alta presión sobre el recurso hídrico y la pérdida de biodiversidad potencializan un desarrollo no sostenible y que no contribuye a construir un futuro de seguridad hídrica y resiliencia ante el cambio climático.

2.7.3 Conservación y protección de los recursos hídricos

Las cuencas hidrológicas de México albergan una diversidad abundante de ecosistemas acuáticos, hábitats y especies que están física y biológicamente articulados por el flujo de agua y su régimen hidrológico. Estos valores ambientales son expresamente reconocidos por la LAN, en el ámbito de la administración del recurso, se reafirma con ello el gran valor estratégico de la conservación de los recursos hídricos por su dimensión ambiental y sustento del desarrollo. Los decretos de protección expedidos durante la primera mitad del siglo XX tuvieron una visión a largo plazo muy acertada. Se reconocieron tanto las amenazas a las que estaban sujetas las cuencas por el crecimiento poblacional y económico como por su papel estratégico en el desarrollo futuro del país. Precisamente esta visión de largo plazo llevó a destinar una parte del territorio nacional a la conservación, excluirla del uso y con ello mantener las reservas forestales y de aguas nacionales. Sin embargo, hay varios factores que invitan a dar un nuevo impulso a la política de conservación de las cuencas y su ciclo hidrológico:

1. La ausencia en la aplicación de figuras jurídicas de protección como reservas forestales, zona protectora forestal etc., el incremento poblacional, la priorización de actividades productivas y de desarrollo económico han incidido negativamente en la conservación de diversas cuencas y de su balance hídrico.
2. La falta de conservación de ecosistemas prestadores de servicios ambientales.
3. La LAN en su Artículo 41 establece que el Ejecutivo Federal podrá decretar la reserva total o parcial de las aguas nacionales con la finalidad de “garantizar los flujos mínimos para la protección ecológica”, incluyendo “la conservación o restauración de ecosistemas vitales”.
4. Los efectos actuales y proyectados del cambio climático afectan la disponibilidad del agua, lo que representa una amenaza para la sociedad y la biodiversidad, las reservas de agua representan un seguro contra esta amenaza (CONAGUA, 2011c).

Debido a la creciente explotación de los recursos hídricos. Los sistemas de agua dulce albergan (en menos de 0.01% del total mundial de las aguas superficiales) 40% de las especies de peces, sin considerar las especies de anfibios, reptiles y mamíferos asociados al agua, la cifra crece hasta un tercio de la diversidad biológica mundial de vertebrados. El caudal es el principal impulsor de la biodiversidad en los ríos; crea el hábitat acuático, baja el alimento de aguas arriba, cubre el terreno aluvial durante las crecidas, y evacua el sedimento y el agua de mala calidad a lo largo y ancho del sistema. Bunn y Arthington (2002) proponen los siguientes principios:

1. El caudal es el principal determinante del hábitat físico en las corrientes.
2. El desarrollo de especies ribereñas se debe a los regímenes de caudales naturales.
3. La conectividad del caudal en todo el río y sus llanuras aluviales son esenciales para la conservación de las poblaciones ribereñas.
4. Los regímenes de caudales alterados facilitan el crecimiento y la propagación de especies introducidas en el río.

Los caudales ecológicos tienen por objeto garantizar una forma ecológica predeterminada de ver un río, y se tiene que decidir cómo debería ser ese estado ecológico en relación con los bienes y servicios que provee naturalmente. Esto significa la conservación de todos los aspectos de los ecosistemas que van a conformar un equilibrado sistema sostenible: la biodiversidad, la calidad del agua, la dinámica de los sedimentos y los procesos microbianos.

Actualmente la mayoría de los países reconocen la necesidad de cuidar sus recursos naturales, y muchos de ellos tienen una disposición explícita para los caudales ecológicos como parte de sus estrategias nacionales, provinciales o estatales (WWF, 2009).

2.7.4 Ríos y su importancia a través de los servicios ambientales

Los ríos desempeñan un papel esencial como vías para el transporte de personas y mercancías, contribuyendo a la producción de energía eléctrica, suministran alimentos como peces, moluscos y crustáceos, además de facilitar el riego de las tierras. Es crucial resaltar la función que cumplen los humedales, por ejemplo, en la regulación del control de las crecidas originadas por eventos de lluvias intensas. Ayudando a prevenir o disminuir

las pérdidas humanas y económicas derivadas de inundaciones, el mantenimiento de la biodiversidad (que incluye especies empleadas como alimento, como fuentes de materiales, y aquellas que sostienen a los ecosistemas), la reutilización de nutrientes a través de los ciclos biogeoquímicos, la depuración del agua de los residuos domésticos e industriales, y la gestión del clima a niveles locales y regionales (SEMARNAT, 2012).

Los beneficios de utilidad social que surgen de las cuencas hidrológicas y sus elementos, como la regulación del clima, la preservación de los ciclos del agua, la gestión de la erosión e inundaciones, la recarga de los depósitos subterráneos, la supervisión de los flujos hídricos en calidad y cantidad, formación de suelo, captura de carbono, purificación de cuerpos de agua, así como la conservación y protección de la biodiversidad (SEMARNAT, 2018).

Los sistemas acuáticos y terrestres, proporcionan un gran número de bienes y servicios ambientales indispensables para el desarrollo de las sociedades (Tabla 2). Estos son resultado, de los procesos ecológicos que se llevan a cabo de manera natural manteniendo el correcto funcionamiento a los ecosistemas.

Tabla 2

Servicios ambientales e importancia (editado a partir de SEMARNAT, 2012)

Servicios ambientales		Importancia
Servicios de regulación	Atmosférica y climática	Regulación de gases de efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos.
	Balance hidrológico	Recarga de acuíferos y almacenamiento de agua para industria y la agricultura.
	Control de contaminación	Retención y remoción de nutrientes y contaminantes.
Servicios culturales	Espiritualismo	Bienestar y significado religioso.
	Recreación	Turismo y actividades recreativas.
	Educación e investigación científica	La importancia del papel de la educación y la investigación científica en la divulgación del uso racional de los recursos hídricos, con el enfoque de recursos finitos.

Servicios de provisión	Alimento	Pesca comercial y deportiva, frutos y granos.
	Agua dulce	Agua destinada al consumo humano.
Servicios de soporte	Biodiversidad	El agua sostiene la biodiversidad y la escasez significa la pérdida de ésta.
	Formación de suelo	Retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica.
	Reciclaje de nutrientes	Se facilita el reciclaje a través de los ciclos biogeoquímicos, el agua como principal transporte.

2.7.5 Calidad del agua en ríos

La calidad en un cuerpo de agua puede estar definida no sólo en término de las características y requerimientos del sistema hídrico, sino también de acuerdo con los requisitos exigidos a los afluentes que se descargan en el cuerpo receptor. Dentro de los ríos se preservará un equilibrio dinámico que produzca servicios ecosistémicos significativos y, por tanto, beneficios para los seres vivos. Los ríos, al tener una estructura tridimensional, actúan como corredores, barreras, fuentes y sumideros. No obstante, estas particularidades los han vuelto susceptibles a experimentar una disminución en su calidad debido a distintas actividades humanas, como la intensa regulación causada por la presencia de embalses, derivaciones, vertidos (urbanos, industriales, agrícolas), detracciones, retornos, trasvases, cambios de uso de suelo y urbanización de la cuenca, incendios, plantaciones etc., que tienden a alterar su composición y funciones. En México se desconoce el nivel de alteración eco hidrológica de todos los ríos y sus afluentes, ocasionado por la actividad antrópica sin embargo, una gran cantidad de los ríos nacionales presentan un grado de integridad ecológica que varía de regular a deficiente, indicando que la salud del entorno acuático está en declive, se ha perdido la conexión con su ribera y la vegetación aledaña se muestra fragmentada (Hernández, 2014).

La calidad del agua, en ausencia de la actividad humana, estaría influenciada por la erosión del sustrato mineral, procesos atmosféricos de evapotranspiración, sedimentación de sales y lodos, la lixiviación natural de materia orgánica y nutrientes del suelo debido a factores

hidrológicos, y los procesos biológicos en el entorno acuático que tienen el potencial de cambiar la composición física y química del agua (ONU, 2014).

2.7.6 Gestión de recursos hídricos

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en México (GIRH), se implementa mediante un enfoque de política pública que es gradual, ajustable y busca lograr el desarrollo y la gestión coordinada del agua y sus recursos asociados. Esto propicia que la utilización de los recursos hídricos se oriente hacia la consecución de metas nacionales de desarrollo económico y social, siguiendo principios de equidad y sostenibilidad ambiental, la GIRH se basa en manejar los recursos a nivel de cuencas y subcuencas, considerando microcuencas y acuíferos; también busca fijar objetivos a largo plazo para las políticas hídricas mediante una planeación estratégica y planes maestros; integrando principios de subsidiariedad, el principio precautorio y el de usuario y contaminador pagador, apoyando las políticas hídricas (Valencia *et al.*, 2007).

Actualmente, a nivel internacional se espera alcanzar los ODS definidos en la Agenda 2030, que adjunta temas del agua y su gestión. Complementariamente, se busca la "Seguridad Hídrica" que busca satisfacer las necesidades humanas y las de los ecosistemas. México se ha comprometido a implementar el derecho humano al agua y al saneamiento, sin descuidar su conexión con otros derechos como el derecho a la salud, a un entorno saludable, respetando los derechos de los pueblos indígenas y afrodescendientes (PNH, 2020).

2.7.7 Gobernanza

En la GIRH se reconoce que los desafíos no pueden ser solucionados únicamente por el Estado, sino que es necesario contar con la participación de todos los actores sociales involucrados; por esta razón, se sugiere promover el establecimiento de la gobernanza como un modelo innovador de gobierno, en el cual el Estado desempeña el papel de asegurar el bienestar público, facilitar y movilizar recursos, así como coordinar diversas actividades vinculadas a la gestión y el desarrollo del recurso hídrico, pero priorizando la participación de la sociedad civil. A través de la gobernanza, se persigue establecer las

estructuras y herramientas que propicien el intercambio de ideas, la creación de acuerdos y la resolución de conflictos, todo ello guiado por principios democráticos que garantizan la representación de diversos sectores sociales y la legitimidad al proceso de toma de decisiones.

La GIRH tiene como objetivo promover la descentralización y la participación de diferentes actores mediante el establecimiento y fortalecimiento de instituciones que fomentan la deliberación, la participación y el empoderamiento. Ejemplos de estas instituciones incluyen los organismos de cuenca, los comités de microcuenca y los comités de aguas subterráneas.

Actualmente, se procura contar con los servicios básicos de agua potable y saneamiento para la población, así como el uso eficiente del agua en las actividades económicas. Por otro lado, se busca perfeccionar las condiciones para una gobernanza del agua que permita preservar el derecho humano al agua.

Asimismo, se busca fortalecer capacidades institucionales y sociales para hacer frente a desastres, reducir los daños materiales y humanos causados por la variabilidad climática. Al final, se apoyará la conservación de los recursos naturales que brindan bienestar a la población mexicana, así como la salvaguarda de la salud de las personas y los ecosistemas frente a situaciones de déficit o contaminación del agua. Se impulsará el fortalecimiento de la planificación del agua y la disponibilidad de información relacionada con este recurso, con el objetivo de lograr una gestión integrada del recurso (PNH, 2020).

De acuerdo con el Programa Nacional Hídrico (PNH) 2020-2024 se busca atender cinco problemáticas públicas

1. Acceso a los servicios de agua potable y saneamiento insuficiente e inequitativo
2. Utilización ineficaz del recurso hídrico con impactos negativos a la población y a los sectores productivos
3. Pérdidas humanas y materiales por fenómenos hidrometeorológicos extremos
4. Deterioro cuantitativo y cualitativo del agua en cuencas y acuíferos
5. Falta de condiciones institucionales y participación social adecuadas dificulta la toma de decisiones efectivas y la lucha contra la corrupción

Los problemas de gobernación del agua están asociados a la administración del agua a partir de la unidad de ciclo hidrológico (aguas superficiales y aguas subterráneas) para gestionar integralmente; considerando la urgencia de ampliar y consolidar las capacidades institucionales del sector público, así como establecer regulaciones eficaces y transparentes para garantizar la prestación eficiente de servicios, la gestión coordinada de las cuencas compartidas y, el desarrollo y aplicación de políticas efectivas y coordinadas, particularmente en colaboración con las entidades territoriales, con la intervención subsidiaria de los gobiernos cuando sea factible, y la concienciación de la población. En México se ha adoptado la normatividad de CE como instrumento de gestión permitiendo acordar el manejo integrado y sostenible del recurso (Domínguez, 2011).

3. PROBLEMÁTICA

El río Cacalotenango forma parte de la subcuenca del río medio Balsas y se ubican en la zona Minera de Taxco de Alarcón – Guerrero, inmerso en la vegetación de la selva baja caducifolia junto con zonas impactadas, producto de la explotación minera que por décadas ha generado una gran cantidad de residuos mineros mejor conocidos como jales, en la zona es posible apreciar estos grandes conglomerados de residuos actualmente introducidas al paisaje, pero que desde años atrás han sido la principal fuente de contaminación química del agua disminuyendo su capacidad de sostener los servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas asociados. El deterioro de la calidad del agua causado por la contaminación influye sobre el uso de esta, amenazando la salud humana y el funcionamiento de los sistemas acuáticos, reduciendo así la disponibilidad e incrementando la competencia por agua de calidad (Mirassou, 2009).

La subregión del Medio Balsas tiene una extensión de 31 887 km² integrada por 48 municipios, de los cuales 18 pertenecen al estado de Guerrero, 13 a Michoacán y 17 al Estado de México. La extensión del suministro de agua potable en la región hidrológica número 18 Balsas, está puntualmente diferenciada por Subregión, para el caso del Alto Balsas y el Bajo Balsas en la mayoría de los municipios la cobertura es superior al 75%; sin embargo, en la zona del Medio Balsas se presentan los menores porcentajes de cobertura, particularmente en el Estado de Guerrero, la mayoría muestra niveles de cobertura inferiores al 50% (CONAGUA, 2011c).

Para el año 2020 se registró un déficit de -2427.829 Mm³/año en la cuenca del Medio Balsas, según la disponibilidad media anual de aguas superficiales del DOF publicado el 21 de septiembre de 2020.

Por otra parte, la vegetación es de vital importancia al interior de la cuenca ya que, desempeña funciones dentro de su dinámica ambiental, sin embargo, existen factores externos que durante un corto periodo de tiempo han modificado su estructura y funcionamiento, provocan deterioro y pérdida de numerosas especies animales y vegetales. Estas alteraciones interrumpen el proceso natural de sucesión vegetal dando paso a la aparición de la vegetación inducida (Toledo y Bozada, 2002).

Una combinación de inequidad social, marginalidad económica, también obligan a las personas que se encuentran en condiciones de extrema pobreza a sobreexplotar las tierras y los recursos forestales, los que habitualmente resultan en impactos negativos sobre los recursos hídricos. La carencia de medidas de control contra la contaminación ha degradado aún más el recurso hídrico (GPW, 2000). Los enfoques sectoriales en el manejo de recursos de agua han dominado y siguen prevaleciendo. Esto lleva a un manejo y desarrollo descoordinado y fragmentado del recurso (Mirassou, 2009).

4. JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales retos del siglo XXI es combatir la escasez de agua, ya que su disponibilidad permanente es indispensable para la adaptación al cambio climático y conservación de la biodiversidad, esta escasez es resultado de complejas interacciones entre factores sociales, económicos, ambientales y solo en pocas ocasiones se puede atribuir únicamente a la falta de precipitación (ONU, 2014).

Diferentes tipos de actividades humanas han afectado la funcionalidad natural de diversos cuerpos de agua, no solo en sus características fisicoquímicas y biológicas, sino también en la cantidad de agua disponible, la cual es fundamental para el buen funcionamiento del ecosistema y para los servicios ambientales que este proporciona. Por lo que es necesario un manejo adecuado entre el uso de los recursos como base para el sustento de una población creciente, y al mismo tiempo garantizar la protección y su conservación para mantener sus funciones y características respecto al ecosistema. Este desafío únicamente puede abordarse mediante la implementación de sistemas de asignación de agua diseñados específicamente para abordar la escalada del problema. Estos sistemas deben considerar el valor del agua como componente integral de los ecosistemas, garantizando al mismo tiempo una distribución justa y eficiente que satisfaga las necesidades actuales. (Vidal y Barrios, 2010).

El CE es una herramienta para la gestión y distribución del agua que determina la cantidad, calidad y patrón de flujo necesarios para preservar los elementos y funciones de los cursos de agua. Esta política hídrica implica la conservación del régimen, es decir, los eventos naturales que mantienen el caudal, protegiendo así los servicios ambientales de los que se benefician las poblaciones humanas al mantener la integridad funcional de los ecosistemas. El CE es un tema que exige la interacción de especialistas y de la población, dispuestos a entender y explicar distintas áreas de conocimiento con el objeto de lograr su estimación, sustentabilidad y seguimiento a largo plazo para la conservación de las cuencas, el agua y los servicios (Alonso *et al.*, 2007; Gómez y Piñeiro, 2018).

La importancia de estudiar el CE del río Cacalotenango radica en que, en sus márgenes se ubican diversos poblados, caracterizados por la presencia de residuos mineros (minas La

Concha, El Fraile y El Cenicero) cuyo impacto producto de las escorrentías superficiales se ha acumulado durante décadas, aunado a los aportes de aguas residuales domésticas, representa un enorme riesgo a la salud de los pobladores usuarios del agua del río con fines domésticos y agrícolas. A nivel mundial el cálculo del CE se ha convertido en una herramienta para disminuir el impacto negativo que se presenta al realizarse la regulación de los ríos y buscar la relación de este con la calidad del agua y la biodiversidad de su entorno. Este volumen de agua destinado a la conservación o en su caso recuperación de los componentes, funciones y procesos de los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres, garantizará la conectividad a lo largo del río y el soporte de los servicios ambientales, a largo plazo brindará mejores condiciones de resiliencia y garantizará el derecho humano al acceso de agua (Izquierdo y Madroño, 2013).

5. ZONA DE ESTUDIO

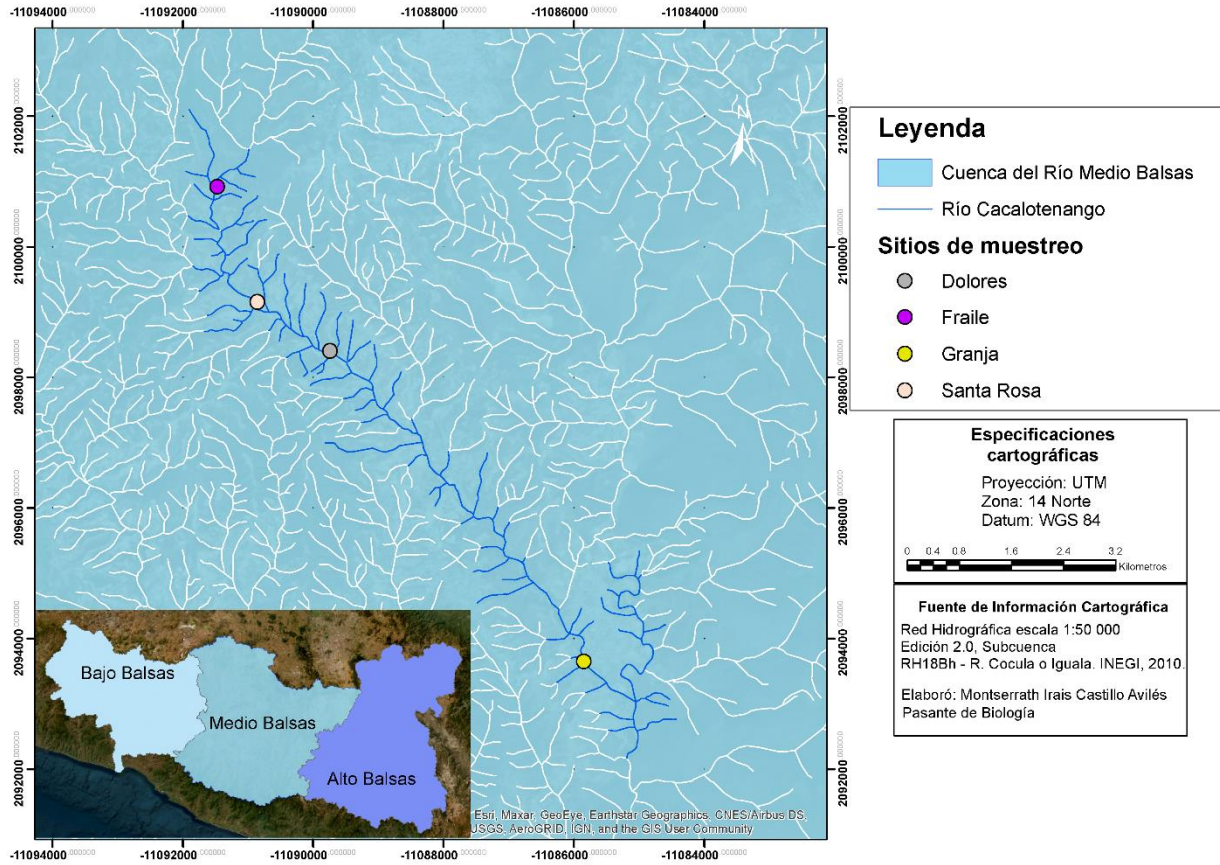
5.1 Estado de Guerrero

El estado de Guerrero se sitúa al Sur de la República Mexicana, localizado totalmente en la zona tropical, ubicado al norte 18°53'16", al sur 16°18'57" de latitud norte; al este 98°00'26", al oeste 102°11'04" de longitud oeste. Colinda al norte con Michoacán de Ocampo, México, Morelos y Puebla; al este con Puebla y Oaxaca; al sur con Oaxaca y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico y Michoacán de Ocampo. Tiene una extensión de 63,595.9 km² representando el 3.2% de la superficie del país (INEGI, 2020).

5.2 Taxco de Alarcón

El municipio de Taxco de Alarcón se ubica entre los paralelos 18° 21' y 18° 41' LN; los meridianos 99° 25' y 99° 47' LO; altitud entre 700 y 2,600 m. Colinda al Norte con los municipios de Tetipac, Pilcaya y Morelos; al Este con Morelos y el municipio de Buenavista de Cuéllar; al Sur con los municipios de Buenavista de Cuéllar, Iguala de la Independencia, Teloloapan e Ixcateopan de Cuauhtémoc; al Oeste con los municipios de Ixcateopan de Cuauhtémoc, Pedro Ascencio Alquisiras y Tetipac. Este municipio representa el 1.0% de la superficie del estado de Guerrero (INEGI, 2009).

Figura 2



Ubicación de la zona de estudio

6. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y BIOLÓGICA

6.1 Fisiografía

Pertenece a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur y a las subprovincias Depresión del Balsas y Sierras y Valles Guerrerenses, los sistemas de topoformas localizados en este municipio son: Sierra alta compleja con cañadas, Sierra de cumbres tendidas, Meseta de aluvión antiguo con lomeríos y Valle de laderas tendidas con lomeríos (INEGI, 2009).

6.2 Geología

La geología pertenece a los periodos Cretácico (57.75%), N/D (19.77%), Paleógeno (16.79%), Neógeno (2.65%) y Cuaternario (0.41%), con una presencia de rocas Metamórfica: metasedimentaria (14.6%) y metavolcánica (5.18%), Ígnea extrusiva: toba ácida (12.91%), brecha volcánica básica (0.3%) y basalto (0.1%) y Sedimentaria: caliza (47.18%), lutita- arenisca (10.56%), conglomerado (3.89%) y arenisca-conglomerado (2.65%). En las minas de este municipio se extrae principalmente plata, mercurio, plomo y zinc (INEGI, 2009).

El cerro Huixteco es la cima más elevada en la Sierra de Taxco, alcanzando una altitud máxima de 2,580 metros, siendo uno de los lugares de mayor interés para los pobladores de Taxco, debido a su belleza escénica y el aprovechamiento de los recursos naturales. Sus altas cumbres con estribaciones abruptas y fallas favorecen la presencia de bosque de encino, bosque de pino-encino y bosque mesófilo de montaña, en la parte más alta el tipo de clima es C(w2) x'; del grupo templado y en la baja predomina el (A) C (w); semicálido templado subhúmedo. Es un depósito de diversidad de flora y fauna que alberga numerosas especies protegidas. (Guzmán, 2018).

6.3 Edafología

De acuerdo con la WRB versión 2015, la edafología en el Municipio de Taxco se caracteriza por la presencia dominante de Phaeozems háplico asociado con Regosol y Cambisol crómicos de textura media, hacia el norte y el poniente se presenta Luvisoles

crómicos y férrico de textura fina y hacia el oriente, se registran Cambisol crómico y cálcico asociado con Phaeozems háplico de textura media, todos ellos con fase física lítica o dúrica y sin fase química.

La presencia de la fase física se encuentra a menos de 50 cm de profundidad y las excesivas pendientes hacen que estos suelos no sean aptos para la agricultura, igualmente no son aptos para uso urbano los que presentan fase lítica por el elevado costo de excavación (MIA Particular, s.f.).

6.4 Clima

Los tipos de clima predominantes son templado subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad C(w2), semicálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (A)C(w1) y cálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad Aw0. El rango de temperatura va de los 12°C a los 26°C y el rango de precipitación oscila entre los 800 y 1,500 mm (García, 2005; INEGI, 2009).

6.5 Hidrología superficial y subterránea

El municipio pertenece a la Región Hidrológica número 18 Balsas (RH 18) específicamente a la subregión Medio Balsas, esta es la cuenca hidrológica más importante de la vertiente del Pacífico mexicano. Esta cuenca representa el 6% de la superficie continental de México, incluyendo partes de diversas zonas geoeconómicas del sur del pacífico centro- occidente y centro-sur de la República, a través de ocho estados: México, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, Morelos, Michoacán, Jalisco y Guerrero. Se incluyen las cuencas Río Balsas–Mezcala (77.73%) y Río Grande de Amacuzac (22.27%) y las Subcuencas Río Cocula o Iguala (77.23%) y Río Alto Amacuzac (22.27%). Las corrientes de agua perennes son Acatlán (Los Hornos), Almolonga, Amacuzac, Campuzano, Chitosto, El Añil, Encino Solo, La Trampa, Plan de Campos, San Juan, San Pedro Atengo, Taxco, Temixco y Zacapalco y las intermitentes son Axixintla, Capulines, El Añil, El Limón, Granadas, Grande, Huixteco, La Cueva de la Vieja, La Gotera, Landa, Las Bocas, Los Aguacates, Los Naranjos, Marmajita, San Jerónimo, San Juan, Taxco y Zapotitla (INEGI, 2009).

Por otro lado, el municipio pertenece al acuífero Buenavista de Cuellar con clave 1204 El uso principal del agua es el público-urbano. El acuífero pertenece al Consejo de Cuenca “Río Balsas”, instalado el 26 de marzo de 1999 y una pequeña porción al este pertenece a la Comisión de Cuenca Río Apatlaco. En el territorio que cubre el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna ni se ha constituido hasta la fecha Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) (CONAGUA, 2022).

6.6 Uso de suelo y vegetación

En la sierra de Taxco se encuentran cinco tipos de vegetación: bosque tropical caducifolio, bosque de *Quercus* (asociaciones con coníferas), bosque de coníferas, bosque mesófilo de montaña y bosque de galería. Además de los tipos de vegetación, existen pastizales inducidos y zonas de agricultura (Martínez et al. 2004).

La flora presente en la región montañosa del río Balsas representa una destacada reserva de bosques y selvas tropicales. Las cadenas montañosas del sur que circundan la depresión del río Balsas son una parte integral del centro primario mundial de diversidad de *Pinus spp.* Además, el centro primario de diversidad del hemisferio occidental de *Quercus spp.* de las 450 especies de encino que se estima existen en el mundo, en esta zona crecen por lo menos, de 135 a 173, lo que representa el 30% al 38 La variedad de pinos en México abarca 49 especies, la mayoría endémicas, representando aproximadamente el 50% de la diversidad mundial de este género. Los bosques de pino y encino contienen una cantidad superior al 10% de las especies de la familia Asteraceae identificadas a nivel global, y más del 60% de ellas son endémicas. De las 312 especies de *Salvia*, 270 especies son endémicas. La cuenca del Balsas es el área de mayor concentración de especies del género *Bursera* a nivel nacional, de estas unas 34 habitan las diversas regiones del Balsas, siendo 21 endémicas (IMTA, 2014; Toledo y Bozada, 2002).

Las selvas tropicales subhúmedas ubicadas en la depresión del Balsas son parte de los ecosistemas forestales tropicales más extensos de México y representan la vegetación de dosel cerrado más al norte en el continente americano. Una cantidad considerable de estas selvas forman parte del conjunto de vegetación que se extiende por las laderas y montañas de la cuenca del río Balsas, especialmente en las zonas correspondientes al Eje

Neovolcánico transmexicano y la Sierra Madre del Sur. Las selvas subhúmedas de la cuenca del río Balsas forman parte de las diez regiones con la mayor cantidad de aves endémicas a nivel mundial y sus selvas medianas subcaducifolias conforman partes del hábitat más rico en cuanto a diversidad de aves de México, además estas selvas son el hábitat de 724 especies de los vertebrados terrestres de México, entre los cuales 233 especies son endémicas (Toledo y Bozada, 2002).

6.7 Fauna

En cuanto a la fauna, aún persisten diversas y frágiles especies como: venado, aguililla, gavilán, paloma, zopilote, huilota, tórtola, pájaros (de varias especies), conejo, tejón, mapache, zorrillo, armadillo, iguana, culebra, víbora de cascabel, lagartija, rata, alacrán, zorra, coyote, gato montés, tlacuache y zarigüeya. (Naturalista, s.f.).

En la cuenca del Balsas se han reportado 18 especies ícticas pertenecientes a 7 familias: Cyprinidae, Characidae, Ictaluridae, Goodeidae, Poeciliidae, Atherinidae y Cichlidae. Ocho de estas especies son endémicas de la cuenca del río Balsas y dos son introducidas artificialmente (Espinosa *et al.*, 1993). Otra de las especies introducidas es *Hypostomus plecostomus* o mejor conocido como pez diablo la cual representa un peligro alterando la dinámica de las cadenas tróficas, provocando la disminución en el tamaño de las poblaciones de peces nativos y el desplazamiento de las especies que se alimentan principalmente de algas y detritus (SEMARNAT, s.f.).

6.8 Demografía

La población total del municipio de Taxco de Alarcón en 2020 fue de 105,586 habitantes. Del total de la población el 98.1% es económicamente activa ocupada, las actividades económicas que se desarrollan en este municipio son: minería, agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca, caza, construcción, entre otras que pertenecen al sector terciario como el comercio (INEGI, 2020). Del total de la población mayor de 15 años del municipio, el 30.4% cuenta con estudios nivel primaria, el 29% con secundaria y el 21.2% con grado de preparatoria o bachillerato general, el 11.2%, 0.51% y 0.24% de la población cuentan con estudios de licenciatura, maestría y doctorado respectivamente.

7. OBJETIVOS

7.1 Objetivo general

Determinar el caudal ecológico del río Cacalotenango para proponer medidas de gestión, mantenimiento y protección del recurso hídrico en la zona.

7.2 Objetivos particulares

- Obtener el objetivo ambiental del caudal ecológico del río Cacalotenango, a partir de la importancia ecológica y la presión de uso del recurso hídrico.
- Analizar el registro de especies del municipio de Taxco de Alarcón para conocer su relación con la importancia ecológica del objetivo ambiental.
- Conocer la presión de uso de la cuenca del Balsas.
- Determinar el porcentaje de agua a reservar del sistema ambiental en estudio a través del caudal ecológico.

8. MÉTODO

Esta investigación se realizó en dos fases: campo y gabinete.

8.1 Fase de campo

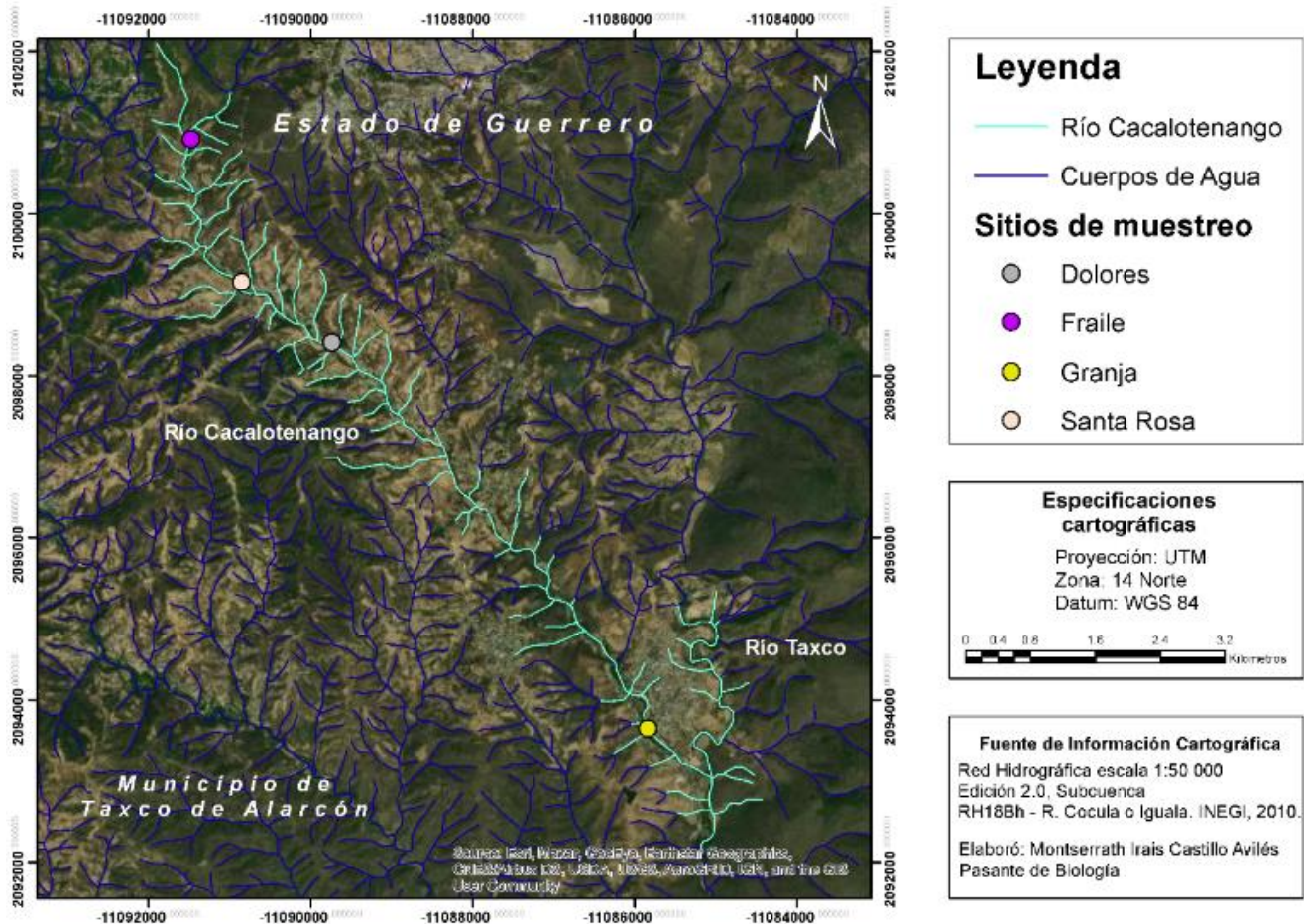
Se establecieron cuatro estaciones de muestreo en el río Cacalotenango (Tabla 3) como se puede ver en la Figura 3, en cada punto una sección de 14 metros a lo largo del río, que se dividió en tres partes tomando como referencia la altitud por lo que la sección fue dividida en la parte alta, media y baja, a las que se midió ancho y profundidad del caudal, posteriormente se registró la velocidad de la corriente, con los datos obtenidos se calculó el caudal Q (m^3/s). Además, se analizaron datos históricos de un periodo de tiempo de cuatro años (2015-2018) recopilados por alumnos del Laboratorio de Proyectos Ambientales de la FES Zaragoza UNAM.

Tabla 3

Coordenadas de sitios de muestreo

Sitio	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud m.s.n.m.
Fraile	18.5405556	-99.6363889	1495
Santa Rosa	18.5255556	-99.6308333	1425
Dolores	18.5191667	-99.6208333	1377
Granja	18.4786111	-99.5858333	1235

Figura 3



Sitios de muestreo en el Río Cacalotenango

8.2 Fase de gabinete

Se analizó y procesó de manera sistemática información científica como artículos especializados, bases de datos y normas oficiales mexicanas, entre las que se encuentran:

Estadística del agua en México de la CONAGUA

Geoportal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México (SNIB)

Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo (Última modificación del Anexo Normativo III 14/11/2019).

Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS)

Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, Que establece el procedimiento para la determinación del Caudal Ecológico en Cuencas Hidrológicas.

A partir del apéndice normativo A “Objetivos Ambientales para las Cuencas Hidrológicas de México” en la NMX-AA-159-SCFI-2012 se obtuvo el objetivo ambiental del río Cacalotenango, el cual pertenece al río Medio Balsas.

Con la base de datos del SNIB se realizó un listado de especies de flora y fauna del municipio de Taxco de Alarcón, Guerrero posteriormente se consultó la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Anexo Normativo III modificado el 14/11/2019) para identificar el número de especies registradas en el municipio que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo.

Se elaboró una base de datos a partir de la información procesada de CONAGUA en un periodo de 10 años (2010-2019), se generaron los registros de temperatura y precipitación, calidad y presión de uso del recurso de la cuenca hidrológica del Balsas en donde para este último se incluyeron datos de agua renovable, agua renovable *per cápita*, escurrimiento medio anual y recarga media total del acuífero.

Con los registros del SNIB y CONAGUA se determinó la importancia ecológica del río Cacalotenango, para la determinación de su CE se tomó en cuenta la aproximación hidrológica “de gran visión”, de la Alianza WWF y la Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. Los elementos para determinar con esta aproximación son el régimen anual de caudales con finalidad ambiental y el volumen de agua a reservar, tomando en cuenta los datos correspondientes al tramo del río Cacalotenango (2015-2019) y de la estación hidrológica 18580 “Tlaxmalac” del periodo de 1984-2014 obtenidos del BANDAS, esta estación es la más cercana al río Cacalotenango.

9. RESULTADOS Y SU ANÁLISIS

De acuerdo con la Tabla A.1. Cuencas hidrológicas, importancia ecológica, presión de uso, estado de conservación deseado y objetivo ambiental de la NMX-AA-159-SCFI-2012, el río medio balsas al cual pertenece el río Cacalotenango, tiene una importancia ecológica alta, una presión de uso muy alta, un estado de conservación deseado deficiente.

Partiendo de lo anterior el río medio balsas será considerado con un objetivo ambiental clase “D”.

Figura 4

Objetivo ambiental

Importancia ecológica	Muy alta	A	A	B	C
	Alta	A	B	C	D
	Media	B	C	C	D
	Baja	B	C	D	D
CRITERIOS		Baja	Media	Alta	Muy alta
Presión de uso					

Objetivo ambiental (WWF, 2010)

El estado de conservación del río es deficiente y se debe principalmente a la presencia de pasivos ambientales representados por los jales mineros “La Concha”, “El Fraile” y “El Cenicero”, los cuales tienen características de gran interés como la presencia de metales primarios y secundarios que se encuentran expuestos al aire libre, durante la temporada de lluvias sus escurrimientos van directamente al río Cacalotenango, además en las inmediaciones del río se encuentran asentadas diversas comunidades donde el agua es de vital importancia para uso doméstico, lo que representa un riesgo para el ambiente y la salud humana. La actividad minera en Taxco y el depósito de jales data de

aproximadamente 50 años en el caso del jal “El Fraile” ubicado entre los poblados de Santa Rosa y El Fraile, ocupa una superficie de 174 840 m² en los que se han depositado un total de 10, 490 400 m³ de residuos (Santiago, 2011).

La vegetación juega un papel fundamental al interior de las cuencas hídricas, sin embargo, la sola presencia de la vegetación no asegura que esta pueda cumplir las funciones que desempeña dentro de la dinámica ambiental de la cuenca ya que factores externos modifican su estructura y funcionamiento, limitando su productividad. La cuenca del río Balsas es una de las diez cuencas con una superficie de vegetación natural (primaria y secundaria) mayor, la vegetación primaria cubre únicamente el 21.2% de su superficie, predominando la vegetación secundaria lo que es un indicativo de degradación de la vegetación primaria por factores antrópicos o bien un proceso de recuperación natural o inducida (CONAGUA, 2011c).

Es visible la severa alteración de la vegetación que se observa en las márgenes del río, producto de la actividad minera principalmente, además existe una gran variedad de especies introducidas las cuales en general son causantes de daños severos a la biodiversidad, causando la extinción de especies nativas, degradando los ambientes acuáticos y terrestres, perjudicando así los servicios ambientales que en este caso provee el río y, por consiguiente, el bienestar humano (PROFEPA, 2019).

Otro aspecto por considerar es el recurso biótico, en donde se considera a las especies de relevancia regional o nacional que se encuentren bajo cierta medida de protección según la NOM- 059-SEMARNAT-2010 (Anexo Normativo III modificado el 14/11/2019). Para el municipio de Taxco de Alarcón se ha registrado un total de 3292 especies de las cuales 82 se encuentran bajo alguna categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (ANEXO 1).

Del total de especies registradas para Taxco, 81 se encuentran bajo algún estado de protección 46 están sujetas a protección especial Lo que implica que podrían estar en riesgo debido a factores que afectan adversamente su capacidad de supervivencia, por lo que existe la necesidad de favorecer su recuperación y conservación; 28 especies se encuentran amenazadas y estas pueden llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano

plazo, al ocasionar deterioro o modificación en su hábitat, finalmente tenemos siete especies en peligro de extinción (*Amaurospiza concolor*, *Amaurospiza concolor relict*a, *Buteogallus solitarius*, *Dalbergia congestiflora*, *Litsea glaucescens*, *Selaginella porphyrospora* y *Zinowiewia concinna*) para la cual las áreas en las que se distribuyen o el tamaño de las poblaciones han experimentado una disminución significativa, amenazando la viabilidad biológica de la especie en su entorno natural (NOM-059-SEMARNAT-2010. Anexo Normativo III modificado el 14/11/2019).

La presencia de especies que se encuentran bajo algún estado de protección en el municipio de Taxco de Alarcón son un indicador más de la severa fragmentación del hábitat original ocasionada principalmente por las actividades humanas, esta fragmentación además puede ocasionar la pérdida de recursos genéticos, el aumento en la presencia de plagas, la disminución del proceso de polinización en cultivos, alteración del proceso de formación y mantenimiento de suelos, disminución en la recarga de mantos acuíferos y la alteración a los ciclos biogeoquímicos (Navarro *et al.*, 2015).

El grado de presión sobre el recurso hídrico se refiere al recurso hídrico utilizado para usos consuntivos respecto a la disponibilidad total. En la cuenca del Balsas se considera que el grado de presión sobre el recurso es fuerte (CONAGUA, 2010).

Por otro lado, se ha reportado que en el territorio mexicano hay un déficit hídrico del 57% (regímenes climáticos desérticos, árido y semiárido), mientras 47.3% es subhúmedo y húmedo. Menos de una tercera parte del escurrimiento superficial ocurre en 75 % del territorio, donde se concentran los mayores núcleos de población, las industrias y las tierras de riego, lo que provoca insuficiencias en las aguas superficiales y subterráneas para el abastecimiento y a su vez, conduce a la sobreexplotación de acuíferos y obliga a hacer transferencias entre cuencas.

Los resultados del análisis para la región hidrológica del Balsas (ANEXO 2) de agua renovable registrados en el periodo de 2010-2019 mostró un aumento en el volumen de agua renovable, lo cual muestra un equilibrio en la dinámica fluvial del acuífero, sin embargo, en el periodo de 2014-2018 comenzó a presentarse un déficit anual de agua renovable, que para este periodo de tiempo fue de 1231 hm³ mientras que la población

media anual en el periodo 2010-2019 registró un incremento de aproximadamente millón y medio de habitantes.

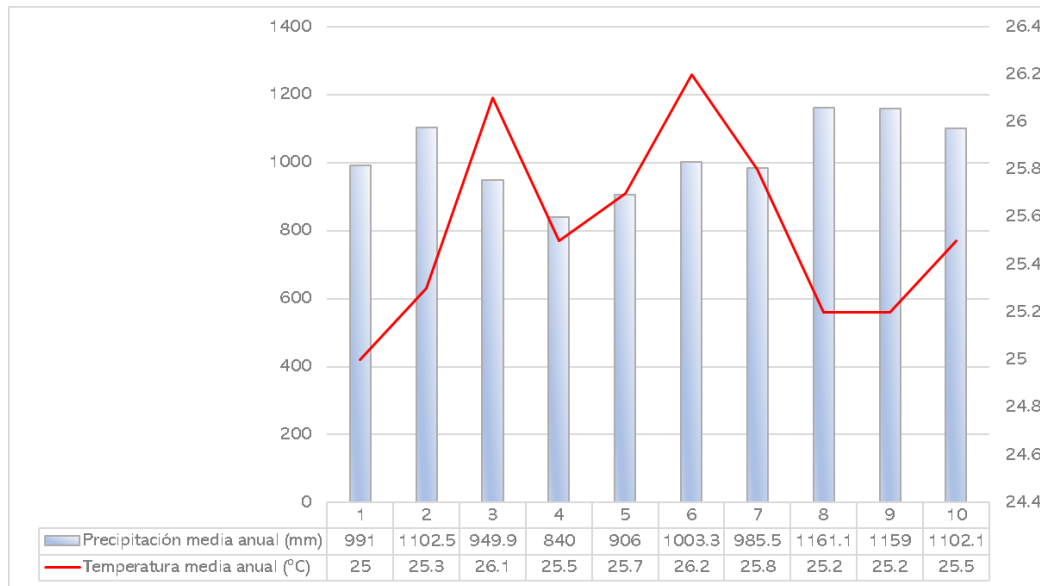
La visible variación de ambos parámetros se ve reflejada en la pérdida anual del volumen de agua renovable *per cápita*, para este periodo de tiempo en promedio existe una pérdida de aproximadamente 35 m³/hab/año. Por otro lado, el escurrimiento medio anual y la recarga media del acuífero a pesar de no presentar una gran variación, en los últimos años del periodo tuvieron pérdidas de 259 y 971 hm³/año respectivamente.

En cuanto a la temperatura (Figura 5) a nivel de cuenca, los años 2012 y 2015 presentaron una temperatura promedio de 26.1 y 26.2 °C respectivamente, reflejando ser los años más secos, el año 2005 arrojó un valor de 25°C considerado el más frío del periodo, sin embargo, del 2016 al 2019 el compartimiento térmico fue constante con variaciones mínimas de 0.2°C en los 25°C. La variación de poco más de un grado centígrado entre el año 2005 al 2012 probablemente ha desencadenado un descenso de oxigenación a lo largo de la cuenca, provocando un aumento de especies invasoras y de los niveles de toxicidad de fosfatos y nitratos. Este aumento mínimo de hasta un grado puede tener efectos indeseables sobre la calidad del agua. En especial en aguas eutróficas, las altas temperaturas favorecen el desarrollo de cianófitos y blooms algales, y la estratificación térmica intensa en embalses puede dar lugar a la creación de aguas anóxicas en el fondo de estos, con los consiguientes problemas de mortalidad de peces, resuspensión de contaminantes, malos olores, entre otros.

Por su parte la precipitación constituye uno de los principales ingresos de agua al balance hídrico de una región. La variabilidad de ésta ocasiona en innumerables casos inundaciones o severas sequías que afectan a la población, sus actividades económicas, el acceso al agua potable y las coberturas del suelo (Ferrelli y Solange, 2015). De acuerdo con la dinámica fluvial presente en la zona de estudio el valor más bajo fue de 840 mm para el año 2013, este valor presentó un descenso en la recuperación del recurso hídrico, afectando la disponibilidad del recurso y sus servicios ambientales. Para el año 2017 se registró una precipitación de 1,161.1 mm con una capacidad mayor de renovación media anual, lo que permite relativamente una mayor infiltración de agua, vital para una cuenca en déficit como la del Balsas. De manera general a lo largo de este periodo se tiene un promedio de

precipitación de 1020.01 mm, sin embargo, la cuenca carece de recuperación adecuada a la alta demanda de extracción para uso minero, agrícola y generación de energía.

Figura 5



Climograma 2010-2019 Cuenca hidrológica del Balsas (elaborado a partir de datos históricos de CONAGUA)

El agua se define como contaminada cuando hay una repercusión negativa en su calidad para el consumo humano o para el mantenimiento de los ecosistemas factores como el vertido de desechos industriales y municipales sin tratar, depósito de desechos sólidos a los cuerpos de agua, uso de pesticidas y fertilizantes, deforestación, erosión del suelo y el aumento de la temperatura del agua, que ocasiona la disminución de oxígeno en su composición. Según el REPDA, en la Cuenca del Balsas se descargan anualmente 5,669.67 hm³ de aguas residuales, los principales usos de los cuales provienen estas aguas son: industrial (3,887.66 hm³), generación de energía eléctrica (1,223.02 hm³) y público urbano (428.56 hm³) (CONAGUA, 2022).

De acuerdo con el Programa Nacional de Reservas de Agua en México de 2015, el CE es un instrumento de gestión que permite acordar un manejo integrado y sostenible del recurso hídrico, promoviendo el desarrollo y manejo del agua y de los recursos relacionados con

la cuenca, con el objetivo de ofrecer un bienestar económico y social equitativo, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas.

En el caso del río Cacalotenango, la presencia de jales mineros (La Concha y El Fraile) y la descarga de aguas residuales urbanas sin tratamiento, son la principal causa de la fuerte contaminación de elementos tóxicos por metales pesados como: Cd, Zn, Pb y Cu, entre otros, han intensificado sus concentraciones en el ecosistema y han persistido por un prolongado periodo de tiempo ya que estos elementos pueden acumularse en diferentes organismos, los cuales exhiben características de alta toxicidad y bioacumulación, directamente relacionado con cuestiones de salud humana a través de la cadena alimentaria y los recursos de agua potable, además de la evidente degradación del ecosistema. Uno de los parámetros que influye directamente en la solubilidad de estos elementos es el pH, valores bajos inducen una mayor solubilidad y viceversa (Salcedo, *et al.*, 2022). Por otro lado, la administración de concesiones de agua no ha sido la adecuada ya que no existe un estudio que permita determinar los balances hídricos, con el fin de regular las concesiones de agua existentes de acuerdo con los volúmenes disponibles a lo largo del año, además en diversas administraciones no se ha tomado en cuenta la reserva de un volumen de agua para la protección del ambiente. Esta sobreexplotación, la contaminación del subsuelo y de las fuentes superficiales de agua, han puesto en riesgo el equilibrio natural de los acuíferos y de los ecosistemas, además de comprometer el abasto de agua potable en gran parte de ciudades y comunidades del país; para 2015 la CONAGUA reportó 105 acuíferos sobreexplotados, para el 2022 el IMTA reportó 245 acuíferos sin disponibilidad de agua, bajo esta categoría se incluyeron aquellos en donde el volumen de agua subterránea extraída supera los volúmenes de recarga, propiciando un déficit en la disponibilidad. Según la UNESCO, aproximadamente el 72% de la extracción de agua subterránea en todo el mundo se lleva a cabo en 10 países y México es uno de los que más consumen, ya que de esta fuente proviene 39.1% del volumen concesionado para usos consuntivos (Hernández *et al.*, 2019).

Un ejemplo es el caso de las concesiones de agua que se otorgaron a nueve grupos mineros en el estado de Guerrero, según el Registro Público de derechos de Agua en 2014, se han otorgado 20 títulos de aprovechamiento de agua, que equivalen a 8,703,901 m³/año de agua

concesionado a las siguientes empresas mineras: Torex Gold Resources, Inc., Goldcorp Inc., Industrias Peñoles, S.A.B. de C.V, Holcim Apasco S.A. de C.V., Fresnillo PLC, Tianjin Binhai Puerto Port Group Co. Ltd., Papagayo-la Sabana S.A. de C.V. y Juan Vargas Pérez, sin considerar el déficit de 2,427.829 m³ que, actualmente tiene la Cuenca del Balsas. Estos factores en conjunto han provocado un cambio de esta corriente de perenne a temporal.

Es evidente que gran parte de las especies terrestres y de agua dulce están frente a un gran riesgo por las condiciones climáticas, las cuales a su vez interactúan con otros factores como la modificación del hábitat, la sobreexplotación, la contaminación y las especies invasoras. En el último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático se indica que bajo estas proyecciones se reduciría la disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas de forma sustancial, con lo que se intensificará la competencia por el agua y por lo tanto la presión sobre los ecosistemas. El hecho de no contar con la protección de agua requerida por los ecosistemas representa una situación de gran vulnerabilidad para la conservación de la biodiversidad (Barrios et al., 2015).

Bajo esta premisa para la presente investigación se tomó en cuenta la “Aplicación D.1 utilización de valores de referencia” de la aproximación hidrológica propuesta por la Alianza WWF – Fundación Gonzalo Río Arronte, para determinar CE la cual nos permite determinar un volumen anual de agua a reservar con finalidad ambiental utilizando intervalos de porcentaje de Ecurrimiento Medio Anual como valores de referencia y tomando en cuenta el objetivo ambiental y la naturaleza de la corriente. Con esta aplicación se realizó una comparación a partir del caudal medio anual del periodo de 2015-2019 del río Cacalotenango y los caudales medios mensuales del periodo de 1983-2014 correspondientes a la estación hidrológica Tlaxmalac, la cual es la más cercana a la zona de estudio, este análisis permitió seleccionar y calcular el caudal ecológico del 6%, este porcentaje fue seleccionado a partir de la identificación de los problemas ambientales de la zona de estudio (Tabla 3 y 4).

Con este porcentaje obtuvimos un volumen de 0.2569 m³/seg y de 0.05834 m³/seg con datos del río Cacalotenango y de la estación hidrológica Tlaxmalac respectivamente, es evidente la gran diferencia que existe en el volumen de agua a reservar sin embargo, hay

que considerar que las mediciones del caudal en el río Cacalotenango no tuvieron la continuidad requerida para este estudio, como lo establece la Norma, debido a la dificultad que representa trasladarse a la zona de estudio de forma ininterrumpida, por esta razón se tomaron datos históricos con un periodo de 30 años con mediciones diarias, si bien esta estación hidrológica no se encuentra dentro de la zona de estudio, es la más cercana a los puntos de muestreo, que cumple con los requisitos expuestos en la Norma, ya que el municipio de Taxco de Alarcón no cuenta con ninguna estación hidrológica que permita obtener un volumen de agua a reservar para la zona de estudio.

Tabla 4

Caudal ecológico (Qecol) anual y régimen anual del río Cacalotenango (m³/seg)

Caudal medio anual = CMA		Promedio de Escurrimiento Medio Anual =EMA		
		Intervalos de valores de referencia para el régimen de caudalecológico en corrientes temporales		
Año	CMA	DEFICIENTE		
		5%	6% Qecol elegido	9%
2015	4.87	0.2435	0.2922	0.4383
2016	3.21	0.1605	0.1926	0.2889
2017	4.71	0.2355	0.2826	0.4239
2018	3.946	0.1973	0.2367	0.3551
2019	4.68	0.234	0.2808	0.4212
Promedio	4.2832	0.2141	0.2569	0.3854

Tabla 5

Caudal ecológico (Qecol) mensual y régimen mensual de estación hidrológica Tlaxmalac (m³/seg)

Caudal Medio Mensual = CMM		Esguerrimiento Medio Anual = EMA		
Intervalos de valores de referencia para régimen de caudal ecológico en corrientes temporales				
Mes	CMM	DEFICIENTE		
		5%	6% Qecolegido	9%
ENERO	0.00156	0.00007	0.00009	0.00014
FEBRERO	0.00125	0.00006	0.00007	0.00011
MARZO	0.00156	0.00007	0.00009	0.00014
ABRIL	0.00156	0.00007	0.00009	0.00014
MAYO	0.07093	0.00354	0.00425	0.00638
JUNIO	1.77687	0.08884	0.10661	0.15991
JULIO	2.97031	0.14851	0.17821	0.26732
AGOSTO	2.20187	0.11009	0.13211	0.19816
SEPTIEMBRE	3.35906	0.16795	0.20154	0.30235
OCTUBRE	1.22468	0.06123	0.07348	0.11022
NOVIEMBRE	0.055	0.00275	0.0033	0.00495
DICIEMBRE	0.00440	0.00022	0.00026	0.00039
Promedio	0.97242	0.04862	0.05834	0.08751

Debido a las características que forman parte del entorno del río Cacalotenango con condiciones extremas, el caudal estimado es considerado el mínimo aceptable a corto plazo para iniciar una recuperación del hábitat y de las formas de vida del entorno del río.

Resulta de gran importancia incluir en la GIRH este volumen de caudal ecológico, considerando como ya se mencionó la recuperación del volumen de agua para la restauración del ecosistema ripario generando las condiciones adecuadas de hábitat y procesos ecológicos, hidrológicos y geomorfológicos requeridos para poder en primera instancia recuperar y mantener a largo plazo las comunidades biológicas en un estado de conservación previamente definido (Bezaury *et al.*, 2017).

10. CONCLUSIONES

La clasificación del objetivo ambiental para la Región Hidrológica número 18 Balsas – subregión Medio Balsas es clase “D”.

De las 3292 especies registradas para el municipio de Taxco de Alarcón, se encontraron 46 especies sujetas a protección especial (Pr), 28 amenazadas (A) y 7 en peligro de extinción (P) de las cuales cuatro pertenecen al grupo de plantas y tres al grupo de aves, según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Anexo Normativo III modificado el 14/11/2019), la cantidad de especies amenazadas reflejan la severa alteración hidrológica presente en la zona, fragmentando la integridad ecológica del ecosistema considerando así una importancia ecológica alta.

A nivel de cuenca, la presión de uso es fuerte lo cual se ve reflejado en los déficits de agua renovable *per cápita* durante los últimos años, así como en los variables cambios de temperatura.

El caudal seleccionado para el río Cacalotenango fue de 6%, lo que refleja el deterioro actual en el que se encuentra el ecosistema con un estado de conservación deficiente. De acuerdo con el caudal medio anual en el periodo 2015-2019 el volumen mínimo de agua a reservar para recuperar las condiciones ecológicas del río Cacalotenango es de 0.2569 m³/seg y de 0.05834 m³/seg para la zona de Tlaxmalac. Dicho volumen sigue siendo insuficiente incidiendo directamente en la calidad de los servicios ecosistémicos y del recurso hídrico.

La CONAGUA a través del Programa Nacional de Reservas de Agua hasta el año 2018 han decretado 295 cuencas con reservas de agua y la meta para el año 2024 es de 448 (PNH,2020).

Tanto las ANP como el Programa Nacional de Reservas de Agua, son consideradas herramientas de gestión ambiental diseñadas para la preservación de ecosistemas y cuerpos de agua. Sin embargo, no han sido tan eficaces como debería, la implementación del pago por servicios ambientales, que concede incentivos económicos y favorecen la recarga de acuíferos a través de la conservación forestal, no presentan la suficiente apropiación por los propietarios de las áreas de interés, las ANP, Unidades de Manejo Ambiental y reservas de

agua para el ambiente han presentado obstáculos para su implementación debido a la oposición de gobiernos locales y grupos académicos que desconocen el mecanismo, por otro lado la incapacidad de concretar acuerdos democráticos sobre el manejo del agua; esto ha limitado los esfuerzos de la federación para el lograr el cuidado de ecosistemas que nos brindan servicios ambientales hidrológicos. Los Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares por su parte, presentan limitaciones en su labor de concertación. Experimentan dificultades en su función de concertación. Los principales desafíos surgen debido a la falta de representación, la escasa coordinación entre instituciones y el uso de los Consejos como espacios para abogar por intereses de gobiernos, usuarios, académicos o de la misma sociedad civil (PNH,2020).

La sociedad civil, a través de QFB Agustín Pineda Cordero responsable de la Granja Didáctica - Ecológica “Dos Puertas” ubicada en la localidad de Taxco el Viejo, en Taxco de Alarcón, Guerrero, a las orillas del río Cacalotenango, se ha dedicado a buscar y aplicar alternativas amigables con el medio ambiente, la granja ha sido sede de diversos talleres de educación ambiental, ha apoyado a una gran cantidad de estudiantes universitarios a desarrollar proyectos de investigación, que benefician tanto a los ecosistemas como a las comunidades cercanas a la Granja. Además, en colaboración con la gente de las comunidades aledañas al río, han realizado campañas de limpieza, y reforestaciones en la parte alta del río. En agosto de 2023, se llevó a cabo una serie de actividades de reforestación con aproximadamente 800 especies nativas de la región, contribuyendo a la recarga de mantos acuíferos, refugios para diversas especies, producción de oxígeno y mejorar el paisaje, también forman parte del programa “Salvemos el Río”. En este mismo año, la Fundación Rotaria se ha dedicado a la rehabilitación de presas comunicantes para la conservación y recarga de mantos acuíferos.

Es necesario recuperar y mantener un balance entre los volúmenes de agua que garanticen las necesidades hídricas del ecosistema y la asignación de agua para actividades productivas, por lo que la gestión del recurso hídrico deberá realizarse bajo un enfoque integral, reforzando la participación colaborativa de los habitantes a través del desarrollo de programas de educación ambiental, enfocado en la importancia del recurso hídrico como proveedor de bienes y servicios ecosistémicos.

REFERENCIAS

- Alonso, P. E., Gómez, M. A. & Saldaña, P. (Eds). (2007). Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México. IMTA-Alianza WWF/FGRA-PHI/UNESCO-SEMARNAT. <http://www.atl.org.mx/pdfs/Caudal.pdf>
- Asociación Mundial para el Agua (Global Water Partnership, GPW) (2000). Manejo integrado de recursos hídricos. <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-spanish.pdf>
- Barrios, E., Nava, M., Celis, X. & Escobar, N. (2019). Programa Nacional de Reservas de Agua para el ambiente (PNRA): evolución de la información científica y técnica a la definición de política pública. Sexto Informe Nacional de México ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica. <https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/7DFED332-8E25-6C00-8F1B-FD50DFBE5D54/attachments/210375/Meta14-WWF%20PNRA.pdf>
- Barrios, J. E., Rodríguez, J. A., González, I. D., Gómez, R., Reyes, J. A., Escobedo, H., Sánchez, R. & Salinas, S. A. (2010). Tres propuestas de caudal ecológico en México. Programa Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Desarrollo de Nuevos Modelos en México. Alianza WWF – Fundación Gonzalo Río Arronte, I. A. P. México. https://www.researchgate.net/profile/Juan-Reyes-Gonzalez/publication/264457658_Tres_propuestas_de_caudal_ecologico_Agua/links/53dff8b80cf2a768e49e030f/Tres-propuestas-de-caudal-ecologico-Agua.pdf
- Barrios, J. E., Salina, S. A., Martínez, A., López, M., Villón, R. A. & Rosales, F. (2015). Programa Nacional de Reservas de Agua en México. Experiencias de caudal ecológico y la asignación

de agua al ambiente. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Programa-Nacional-de-Reservas-de-Agua-en-M%C3%A9xico-Experiencias-de-caudal-ecol%C3%B3gico-y-la-asignaci%C3%B3n-de-agua-al-ambiente.pdf>

Bezaury, J. E., Ochoa, F., Llano, M. O., Lasch, C., Herron, C., Vázquez, D., Hernández, A. & Hernández, F. (2017). Agua dulce, conservación de la biodiversidad, protección de los servicios ambientales y restauración ecológica en México. https://www.tncmx.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/mexico/agua_dulce_mexico_Juan_Bezaury_et_al.pdf

Bogan, A. E. (1993). Freshwater bivalve extinctions (Mollusca: Unionida). *American Zoologist*, 33: 599- 609.

Brenn, L. J. (1992). Tree fan ón fan intermitent wetland in relation to changes in the flooding frequency of the river Murray, Australia. *Australian Journal of Ecology*, 17: 395-408.

Bunn, S. & Arthington, A. (2002). Principios básicos y consecuencias ecológicas de los regímenes de flujo alterados para la biodiversidad acuática. *Gestión ambiental* 30, 492–507. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2737-0>

Casanova, J. F. & Figueroa, A. (2015). Determinación del caudal ambiental y su relación con variables indicadoras de calidad del recurso hídrico. *Revista Luna Azul*, 40, 05-24. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321733015002>

Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA) (2006). El agua en México: lo que todas y todos debemos saber. (1^{ra} Ed.) México. https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/agua-mexico_001.pdf

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2022). Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2010). Estadísticas del Agua en la cuenca del Río Balsas, 2010. México, D.F.
http://centro.paot.org.mx/documentos/conagua/RIO_BALSAS_.pdf

CONAGUA (2010). Estadísticas del agua en México, edición 2010. México, D.F.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259371/_2010_EAM2010.pdf

CONAGUA (2011a). Estadísticas del agua en México, edición 2011. México, D.F.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259373/_2011_EAM2011.pdf

CONAGUA (2011b). Identificación de reservas potenciales de agua para el Medio ambiente en México. México, D.F.
<https://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sgt-3-11media.pdf>

CONAGUA (2011c). Modificación al Decreto de Veda en la Cuenca del Río Balsas. México, D.F.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/121859/Modificaci_n_Veda_R_o_Balsas.pdf

CONAGUA (2012). Estadísticas del agua en México, edición 2012. México, D.F.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259372/_2012_EAM2012.pdf

CONAGUA (2013). Estadísticas del agua en México, edición 2013. México, D.F.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/260111/EAM2013_br.pdf

- CONAGUA (2014). Estadísticas del agua en México, edición 2014. México, D.F.
<https://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>
- CONAGUA (2015). Estadísticas del agua en México, edición 2015. México, D.F.
<https://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2015.pdf>
- CONAGUA (2016). Estadísticas del agua en México, edición 2016. México, D.F.
http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/novedades/EstadisticasdelAguaMexico2016_CONAGUA.pdf
- CONAGUA (2017). Estadísticas del agua en México, edición 2017. México, D.F.
<https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM-2017.pdf>
- CONAGUA (2018). Estadísticas del agua en México, edición 2018. México, D.F.
<https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/publicaciones/eam2018.pdf>
- CONAGUA (2019). Estadísticas del agua en México, edición 2019. México, D.F.
https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM_2019.pdf
- CONAGUA (2022). Programa Hídrico Regional 2021-2024 Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas. México. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/programas-hidricos-regionales-2021-2024>
- CONANP (2020), Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2020-2024. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.
<https://www.gob.mx/conanp/documentos/programa-nacional-de-areas-naturales-protegidas-2020-2024>

CONANP (2023). Áreas Naturales Protegidas decretadas. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.

http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm#:~:text=La%20Comisi%C3%B3n%20Nacional%20de%20%C3%81reas,exclusivamente%20marina%2C%20representan%2091%2C608%2C327.23%20hect%C3%A1reas

Cushman, R.M. (1985). Review of ecological effects of rapidly varying flows downstream from hydroelectric facilities. North American Journal of Fisheries Management, 5: 330- 339.

De la Lanza, G., Carbajal, J. L., Salinas, S. A., & Barrios, J. E. (2012). Medición del caudal ecológico del río Acaponeta, Nayarit, comparando distintos intervalos de tiempo. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 78, 62-74. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112012000200006

De la Lanza, G., Salinas, S. A. & Carbajal, J. L. (2014). Cálculo del flujo ambiental como sustento para la reserva de agua al ambiente del río Piaxtla, Sinaloa, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 87, 25-38. <https://doi.org/10.14350/rig.35269>

De la Lanza, G., Gonzáles, R., González, I. D. & Hernández, S. (2018). Caudal ecológico de ciertos ríos que descargan al Golfo de México y al Pacífico Mexicano. Ribagua. 5(1), 3-15. <http://sitimta.org.mx/wp-content/uploads/2018/08/Caudal-ecol-gico-de-ciertos-r-os-que-descargan-al-Golfo-de-Mexico-y-al-Pac-fico-Mexicano.pdf>

DOF (2020). ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 Regiones

Hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación.

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600849&fecha=21/09/2020#gsc.tab=0

Díez, J. M. (2005). Bases metodológicas para el establecimiento de caudales ecológicos en el ordenamiento de cuencas hidrográficas. Rev. Ingeniería y Competitividad. Universidad del Valle Cali, Colombia. 7(2), 11-18. <https://doi.org/10.25100/iyc.v7i2.2513>

Domínguez, G. J. & Rodríguez, A. (2005). Evaluación del instrumento caudal ecológico, panorama legal e institucional en Chile y Brasil. REGA, 2(1), 83-96. https://abr.h.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/65/140aa02066e38ed4666e7371fde427a1_18e0f2d5e0938da8e0a7f68110952c45.pdf

Domínguez, J. (2011). Hacia una buena gobernanza para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Documento temático de las Américas. <https://www.oas.org/en/sedi/dsd/iwrm/past%20events/D7/6%20WWF-GOBERNANZA%20Final.pdf>

Espinosa, H., Gaspar, M. T. & Fuentes, P. (1993). Listados Faunísticos de México. III. Los peces dulceacuícolas mexicanos. Instituto de Biología, UNAM. <http://www.ibiologia.unam.mx/BIBLIO68/fulltext/lf3.html>

Ferrelli, F. & Solange, V., (2015). Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espaciotemporal de cuerpos de agua en la Región Pampeana, Argentina. Huellas n° 20, ISSN: 0329-0573 2362-5643

- García, E., González, R., Martínez, P., Athala, J., & Paz, G. (1999): Guía de Aplicación de los Métodos de Cálculo de Caudales de Reserva Ecológicos en México. Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 190 p.
- García, E. (2005). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Gómez, M. A. & Piñeiro, F. (2018). Importancia del caudal Ecológico para los ecosistemas. Fundación Alfredo Harp Helú Oaxaca. Boletín FAHHO No. 24. <https://fahho.mx/importancia-del-caudal-ecologico-para-los-ecosistemas/#:~:text=El%20caudal%20ecol%C3%B3gico%20es%20un%20tema%20interdisciplinario%20que%20requiere%20de,plazo%2C%20para%20la%20conservaci%C3%B3n%20de>
- Guzmán, L. A. (2018). Propuesta de gestión para el desarrollo de un área natural protegida en el Parque del Huixteco. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Guerrero]. Repositorio Institucional de Ciencia Abierta. <http://ri.uagro.mx/handle/uagro/369>
- Hernández, I. (2014). La calidad del agua en los ríos de México. Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM Impluvium. Núm. 3. 7-13. <http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero03.pdf>
- Hernández, R. A., Martínez, L. M., Peñuela, L. A. & Rivera, S. (2019). Gestión del agua subterránea en los acuíferos de la cuenca del río Ayuquila-Armería en Jalisco y Colima, México. Región y sociedad. vol.31. <https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1093>

- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2012). Entra en vigor la Norma Mexicana para la Determinación del Caudal Ecológico. Gaceta del IMTA, No. 61. http://atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=5446:entra-en-vigor-la-norma-mexicana-para-la-determinacion-del-caudalecologico&catid=165:gobernabilidad-del-agua&Itemid=407
- IMTA (2014). Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía del Consejo de Cuenca del Río Balsas (PMPMS-CCRB). Coordinación de Hidrología. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99921/PMPMS_CC_Balsas_Parte_1.pdf
- IMTA (2022). Día Mundial del Agua 2022. Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible. <https://www.gob.mx/imta/articulos/dia-mundial-del-agua-2022?idiom=es>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Taxco de Alarcón, Guerrero. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/12/12055.pdf
- INEGI (2020). Banco de indicadores. Taxco de Alarcón, Guerrero (12055). <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/>
- Izquierdo, M. L. & Madroño, S. M. (2013). Régimen de caudal ecológico, herramienta de gestión para conservar la biota acuática. Universidad militar nueva granada - ciencia e ingeniería neogranadina. 23 (2), 77-94. <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v23n2/v23n2a05.pdf>
- Jowett, I.G. (1997). In-stream Flow Methods: A Comparison of Approaches Regulated Rivers: Research and Management. 13(2) 115-128

- Jowett, I.G., & Davey, A.J. (2007). A comparison of composite habitat suitability indices and generalized additive models of invertebrate abundance and fish presence-habitat availability. *Transactions of the American Fisheries Society*, 136(2), 428-444.
- Lamouroux, N., Mérigoux, S., Capra, H., Dolédec, S., Jowett, I.G. & Statzner, B. (2010). The generality of abundance-environment relationships in microhabitats: A comment on Lancaster and Downes (2009). *River Research and Applications*, 26(7), 915-920.
- Ley de Aguas Nacionales. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación 11-05-2022. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>
- Manifestación de Impacto ambiental Modalidad Particular (Sin fecha). Proyecto Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Localidad Taxco el Viejo municipio Taxco de Alarcón, Guerrero, México. Fecha de consulta 05 de septiembre de 2022. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/gro/estudios/2011/12GE2011HD024.pdf>
- Martínez, M., Cruz, R., Castrejón, J. F., Valencia, S., Jiménez, J. & Ruiz, C. A. (2004). Flora vascular de la porción guerrerense de la Sierra Taxco, Guerrero, México. *Anales del Instituto de Biología*. 72 (2), 105-189. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/bot/article/view/14655>
- Meza, D., Martínez, L. M., Mercado, N., García de Jalón, D., González del Tánago, M., Marchamalo, M. & De la Mora, C. (2017). Propuesta de caudal ecológico en la cuenca del Río Ayuquila-Armería en el Occidente de México. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 45(5): 1017-1030. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=175053482017>

Mirassou, S. B. (2009). La Gestión Integral de los Recursos Hídricos: aportes a un desarrollo conceptual para la gobernabilidad del agua. [Tesis de Doctorado, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Sede Académica Argentina]. Repositorio Digital FLACSO Ecuador. <http://hdl.handle.net/10469/1365>

Muñoz, H. (2019). ¿Qué son los recursos hídricos y cuáles son los principales del Ecuador? Revista electrónica Dialoguemos, La academia a la comunidad. Ecuador. <https://dialoguemos.ec/2019/05/que-son-los-recursos-hidricos-y-cuales-son-los-principales-del-ecuador/>

Naciones Unidas (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible – Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>

Naturalista (Sin fecha). Taxco de Alarcón. Fecha de consulta 10 de marzo de 2023. <https://www.naturalista.mx/places/wikipedia/Taxco%20de%20Alarc%C3%B3n>

Navarro, M. C., González, L. F., Flores, R. & Amparán, R. T. (2015). Fragmentación y sus implicaciones: Análisis y reflexión documental. Universidad de Guadalajara. <http://www.cuc.udg.mx/sites/default/files/publicaciones/2015%20-%20Fragmentaci%C3%B3n%20y%20sus%20implicaciones.%20An%C3%A1lisis%20y%20reflexi%C3%B3n%20documental.pdf>

Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, Que establece el procedimiento para la determinación del Caudal Ecológico en cuencas hidrológicas. Secretaría de Economía,

Ciudad de México, México. 20 de septiembre de 2012.

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166834/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf>

Norma Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. (Anexo Normativo III modificado el 14/11/2019).

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019#gsc.tab=0

IUSS Working Group WRB (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema Internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.

ONU (2014). Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005-2015.

<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

ONU (2014). La escasez de agua. <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

Ortiz, G. (1993). Conceptos originales relevantes de la Ley de Aguas Nacionales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Ingeniería Hidráulica en México.

<http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/705/604>

Poff N.L., B. Richter, A.H. Arthington, S.E. Bunn, R.J. Naiman, E. Kendy, M. Acreman, C. Apse, B.P. Bledsoe, M. Freeman, J. Henriksen, R.B. Jacobson, J. Kennen, D.M. Merritt, J. O’Keeffe, J.D. Olden, K. Rogers, R.E. Tharme & A. Warner. (2010). The Ecological Limits

of Hydrologic Alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology* 55:147-170.

PROFEPA, (2019). La introducción de especies exóticas invasoras afecta la biodiversidad del país.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.

<https://www.gob.mx/profepa/articulos/la-introduccion-de-especies-exoticas-afecta-la-biodiversidad-del-pais>

Programa Nacional Hídrico (PNH) (2020). Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Comisión Nacional del Agua. Programa especial derivado del plan nacional de desarrollo 2019-2024.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/12/2020#gsc.tab=0

Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024. Avance y Resultados (2020). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/659289/16_PS_AyR20.pdf

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J. & Braun D.P. (1996). A Method for Assessing Hydrological Alteration within Ecosystems in *Conservation Biology* 10(4) 1163-1174.

Salcedo, E.R., Esquivel, J.M., Morales, M.M., Talavera, O. & Esteller, M.V. (2022). Evaluación de riesgos ecológicos y a la salud de elementos potencialmente tóxicos de un área minera (agua y sedimentos): el sistema fluvial San Juan-Taxco, Guerrero, México. *Agua*, 14 (4), 518. <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/4/518>

Santiago, M. C. (2011). Caracterización química y fitorremediación de los jales mineros de “El Fraile”, de Taxco de Alarcón Gro. México. [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de

Guerrero]. Repositorio Institucional de Ciencia Abierta.
<http://ri.uagro.mx/handle/uagro/297>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Sin fecha). La invasión del pez diablo. Fecha de consulta 09 de noviembre de 2022.
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/recuadros/recuadro4_1.html

SEMARNAT (2012). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. México.
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf

SEMARNAT (2018). ¿Qué son las cuencas hidrológicas y las reservas de agua?
<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-son-las-cuencas-hidrologicas-y-las-reservas-de-agua>

Stalnaker, C.B. & Arnette, J.L. (1976). Methodologies for the Determination of Stream Resource Flow Requirements: An Assessment, United States Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services Washington DC, 199 pp.

Taylor, D.W. (1982). Eastern Sierra riparian vegetation: ecological effects of stream diversion. Mono Basin Research Group Contribution No. 6, Report to Inyo National Forest.

Toledo, A. y Bozada, L. (2002). El Delta del Río Balsas. Medio Ambiente, Pesquerías y Sociedad (1ra ed.). El Colegio de Michoacán, A.C. ISBN: 968-817-554-4

Valencia, J. C., Díaz, J. J. y Vargas, L. (2007). La gestión integrada de los recursos hídricos en México: un nuevo paradigma en el manejo del agua. En Cotler, H. (Ed.), El manejo integral

- de cuencas en México (pp. 213-258). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). https://biblio.colsan.edu.mx/arch/especi/Ag_eq_017.pdf
- Vidal, O. y Barrios, E. (2010). Crisis del Agua vs. Caudal Ecológico. World Wildlife Fund. <https://www.wwf.org.mx/?208538/crisis-del-agua-vs-caudal-ecologico>
- Walker, K.F., Sheldon, F. y Puckridge, J.T. (1995). A perspective on dryland ecosystem. Regul. Rivers, 11: 85-104.
- Ward, J.V. y Standord, J.A. (1979). The ecology of regulated streams. Plenum Press. New York.
- World Wildlife Fund Inc. (WWF) (2009). Serie Seguridad Hídrica de WWF 2. Cómo conservar los ríos vivos. Guía sobre los caudales ecológicos. México, D.F. http://www.agua.unam.mx/humedales/assets/materialdifusion/WWF_ComoConservarLosRiosVivos.pdf
- WWF (2010). Caudal ecológico. Salud al ambiente, agua para la gente. https://awsassets.panda.org/downloads/fs_caudal_ecologico.pdf

ANEXOS

Anexo 1

Listado de especie presentes en el municipio de Taxco de Alarcón, Guerrero. Elaborado a partir de CONABIO, 2022.

Grupo biológico	Número de especies	Especie	Categoría de riesgo NOM-059
Anfibios	19	<i>Exerodonta smaragdina</i>	Sujeta a protección especial
		<i>Lithobates forreri</i>	
		<i>Lithobates pustulosus</i>	
		<i>Ambystoma rivulare</i>	Amenazada
		<i>AquiloEURYCEA cephalica</i>	
Aves	360	<i>Accipiter cooperii</i>	Sujeta a protección especial
		<i>Accipiter striatus</i>	
		<i>Buteogallus anthracinus</i>	
		<i>Buteogallus urubitinga</i>	
		<i>Deltarhynchus flammulatus</i>	
		<i>Eupsittula canicularis</i>	
		<i>Falco peregrinus</i>	
		<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	
		<i>Harpagus bidentatus</i>	
		<i>Heliomaster longirostris</i>	
		<i>Leiothlypis crissalis</i>	
		<i>Myadestes occidentalis</i>	
		<i>Passerina ciris</i>	
		<i>Passerina ciris pallidior</i>	
<i>Progne sinaloae</i>			
<i>Ridgwayia pinicola</i>			

		<i>Streptoprocne semicollaris</i>	
		<i>Tachybaptus dominicus</i>	
		<i>Vireo nelsoni</i>	
		<i>Xenotriccus mexicanus</i>	
		<i>Geothlypis tolmiei</i>	Amenazada
		<i>Glaucidium palmarum</i>	
		<i>Megascops seductus</i>	
		<i>Tilmatura dupontii</i>	
		<i>Vireo brevipennis</i>	
		<i>Amaurospiza concolor</i>	En peligro de extinción
		<i>Amaurospiza concolor relictus</i>	
		<i>Buteogallus solitarius</i>	
Hongos	228	<i>Amanita muscaria</i>	Amenazada
		<i>Boletus edulis</i>	
		<i>Hygrophorus russula</i>	
		<i>Psilocybe barrerae</i>	
Invertebrados	975	<i>Danaus plexippus</i>	Sujeta a protección especial
		<i>Brachypelma albiceps</i>	Amenazada
Mamíferos	47	<i>Leptonycteris yerbabuena</i>	Sujeta a protección especial
		<i>Megadontomys thomasi</i>	
Peces	12	<i>Notropis boucardi</i>	Amenazada
		<i>Notropis braytoni</i>	
Plantas	1590	<i>Bouvardia loeseneriana</i>	Sujeta a protección especial
		<i>Brahea dulcis</i>	
		<i>Crusea hispida grandiflora</i>	
		<i>Laelia autumnalis</i>	
		<i>Monotropa hypopitys</i>	
		<i>Phymosia rosea</i>	

		<i>Prosthechea citrina</i>	
		<i>Tripsacum zopilotense</i>	
		<i>Coryphantha elephantidens</i> <i>elephantidens</i>	Amenazada
		<i>Dieffenbachia seguine</i>	
		<i>Erythrina (Erythrina) americana</i>	
		<i>Juglans pyriformis</i>	
		<i>Psilotum complanatum</i>	
		<i>Rhynchostele cervantesii</i>	
		<i>Rhynchostele cervantesii</i> <i>cervantesii</i>	
		<i>Sideroxylon capiri</i>	
		<i>Sideroxylon capiri tempisque</i>	
		<i>Zinnia elegans</i>	
		<i>Dalbergia congestiflora</i>	
		<i>Litsea glaucescens</i>	
		<i>Selaginella porphyrospora</i>	
		<i>Zinowiewia concinna</i>	
Protoctistas	6		
Reptiles	55	<i>Anolis nebuloides</i>	Sujeta a protección especial
		<i>Aspidoscelis communis</i>	
		<i>Aspidoscelis costatus</i>	
		<i>Aspidoscelis costatus huico</i>	
		<i>Barisia imbricata</i>	
		<i>Bipes canaliculatus</i>	
		<i>Phyllodactylus bordai</i>	
		<i>Phyllodactylus muralis</i>	
		<i>Salvadora bairdi</i>	
		<i>Salvadora mexicana</i>	

		<i>Sceloporus grammicus</i>	
		<i>Sceloporus grammicus</i>	
		<i>Anolis microlepidotus</i>	Amenazada
		<i>Conopsis biserialis</i>	
		<i>Ctenosaura pectinata</i>	
		<i>Ctenosaura similis</i>	
Total de especies	3292		

Anexo 2

Presión de uso en la cuenca hidrológica del Balsas. Elaborado a partir de Estadísticas del Agua en México, ediciones 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

Año	Agua renovable (hm ³ /año)	Población medio año (Millones de Hab.)	Agua Renovable Per Cápita (m ³ /Hab/año)	Escurrimiento medio anual (hm ³ /año)	Recarga media total del acuífero (hm ³ /año)
2010	21680	10.58	2049	17057	4623
2011	21680	10.62	2040	17057	4623
2012	21991	11.07	1987	17057	4935
2013	22899	11.44	2002	17057	5842
2014	22899	11.56	1980	17057	5842
2015	22156	11.69	1896	16805	5351
2016	21678	11.81	1836	16805	4873
2017	21671	11.93	1817	16798	4873
2018	21668	12	1799	16798	4871
2019	21668	12	1783	16798	4871

Anexo 3

Análisis de cambio de presión de uso en la cuenca Hidrológica del Balsas.

Análisis de cambio					
Año	Agua renovable (hm³/año)	Población año (Millones de Hab.)	Agua Renovable Per Cápita (m³/hab/año)	Escorrentamiento medio anual (hm³/año)	Recarga media total del acuífero (hm³/año)
2010-2011	No hay cambio	0.04	-9	No hay cambio	No hay cambio
2011-2012	311	0.45	-53	No hay cambio	312
2012-2013	908	0.37	15	No hay cambio	907
2013-2014	No hay cambio	0.12	-22	No hay cambio	No hay cambio
2014-2015	-743	0.13	-84	-252	-491
2015-2016	-478	0.12	-60	No hay cambio	-478
2016-2017	-7	0.12	-19	-7	No hay cambio
2017-2018	-3	0.07	-18	No hay cambio	-2
2018-2019	No hay cambio	No hay cambio	-16	No hay cambio	No hay cambio