



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD IZTAPALAPA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

POSGRADO DE ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

**DETERMINACIÓN DE BIOINDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA
DEL HUMEDAL DE “EL CHARCO DEL INGENIO”, SAN MIGUEL DE
ALLENDE, GUANAJUATO**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS (ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE)

PRESENTA:

ANA PATRICIA CASTILLO SÁNCHEZ

DIRECTORA:

DRA. BEATRIZ ADRIANA SILVA TORRES

Agradecimientos

La Maestría en Ciencias (Energía y Medio Ambiente) de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, pertenece al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACyT y cuenta con apoyo del mismo Consejo con el Convenio 003893, por lo que agradezco la beca recibida, a través del convenio No.1027271, para el desarrollo de esta tesis.

Gracias al Comité del Posgrado en Energía y Medio Ambiente, por el apoyo en la realización de este trabajo de investigación para la generación de esta tesis.

Agradecimientos personales

Quisiera agradecer principalmente a mis padres por su amor, apoyo y motivación a seguir con los objetivos que me he propuesto tanto en los personales como en los académicos, pues desde pequeña me enseñaron a perseverar y luchar por mis sueños. Gracias a mi madre por cada consejo y por cada una de sus palabras que me han guiado durante mi vida y a mi padre por siempre desear y anhelar lo mejor para mí.

Gracias a mi compañero de vida y gran amigo quien me motivó cada día a la realización de esta tesis, él cual creyó en mí y me hizo confiar en mí misma. Ya que no fue sencillo terminar este proyecto, sin embargo siempre estuvo diciéndome que lo lograría. Le agradezco por toda su ayuda y por sus aportes no solo para el desarrollo de mi tesis sino también de mi vida.

La amistad es muy hermosa y gracias a esta podemos compartir y disfrutar de las personas que nos han apoyado, como es el caso de mi amiga quien siempre ha estado conmigo en los momentos más gratos y difíciles de mi vida. Y que sin sus consejos no hubiese estudiado en esta gran casa de estudios, además de que me motivó y confió en mí para el desarrollo de esta tesis.

Le debo este logro a mi universidad, la casa que me ha formado a nivel intelectual y que me ha exigido tanto, pero que al mismo tiempo me ha permitido obtener otro logro más. Estoy en deuda con todos los docentes quienes me enseñaron a tenerle gusto y pasión por lo que hago, además de que día a día luchan por educar a más compañeros.

Agradezco a mi asesora de esta tesis quien sin ella no hubiese sido posible el desarrollo de esta tesis pues a pesar de que hubo obstáculos para la finalización de esta, siempre estuvo atenta y dispuesta a apoyarme para que continuará con este proyecto.

Por último, gracias a la vida por este nuevo triunfo y gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en mí para la realización de esta tesis.

“No dejes que termine sin haber crecido un poco,
sin haber sido un poco más feliz,
sin haber alimentado tus sueños.”

Walt Whitman

Comité Tutorial

Directora:

Dra. Beatriz Adriana Silva Torres

Departamento de Biología.

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa

El jurado designado por la
Comisión Académica del Posgrado en Energía y Medio Ambiente
de la Unidad Iztapalapa, aprobó la tesis que presentó **Ana Patricia Castillo**
Sánchez

El día 24 de octubre del 2022.

Miembros del jurado.

Dr. Alejandro Federico Alva Martínez

Presidente.

M. en C. Ma. Carmen Herrera Fuentes

Secretario.

M. en C. Mario Arturo Hernández Peña

Vocal.

INDICE

RESUMEN	10
SUMMARY	11
I. MARCO TEÓRICO	12
1.1 ECOSISTEMAS	12
1.1.1 ¿Qué es un ecosistema acuático?	12
1.1.1.1 Clasificación de los ecosistemas acuáticos	13
1.1.2 ¿Qué es una cuenca?	13
1.1.3 Ecosistemas lénticos epicontinentales	15
1.1.3.1 Clasificación de los ecosistemas lénticos epicontinentales	15
1.1.4 Humedales	17
1.1.4.1 Clasificación de los humedales	19
1.1.4.2 Alteración de humedades	20
1.1.4.3 Calidad de agua en humedales	24
1.2 IMPORTANCIA DEL AGUA	26
1.2.1 Importancia del recurso del agua para la vida	26
1.2.2 Fuentes del agua dulce	27
1.2.3 Usos del agua	27
1.2.4 Importancia del ciclo del agua	28
1.2.5 Los problemas de contaminación del agua y sus efectos deteriorantes	29
1.3 CALIDAD DEL AGUA	30
1.3.1 Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party)	31
1.4 INDICADORES BIOLÓGICOS	35
1.4.1 Bioindicadores	35
1.4.2 Bioindicadores de calidad de agua	37
1.4.2.1 Peces	37
1.4.2.2 Macroinvertebrados acuáticos	38
1.4.2.2.1 Annelida	39
1.4.2.2.2 Mollusca	41
1.4.2.2.3 Arthropoda	43
1.4.2.3 Aves acuáticas	46
1.4.2.4 Anfibios y reptiles	47
1.4.2.5 Vegetación acuática	48
1.5. LEGISLACIÓN	49
1.5.1 Legislación y normativa en materia del agua nacional	49
1.5.1.1 Ley de Aguas Nacionales (LAN)	49
1.5.1.2 Normativa en materia de agua	50
1.5.1.3 Sitios Ramsar	52

1.6. JARDÍN BOTÁNICO “EL CHARCO DEL INGENIO”	53
1.6.1 Descripción del área.....	53
1.6.2. Ubicación y coordenadas	54
1.6.3. Factores abióticos.....	55
1.6.4. Factores bióticos	56
II. JUSTIFICACIÓN	58
III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	59
IV. OBJETIVOS.....	59
OBJETIVO GENERAL.....	59
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	59
V. METODOLOGÍA	60
5.1. ÁREA DE ESTUDIO	60
5.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DE ESTUDIOS PREVIOS	63
5.3 INDICE DE BMWP (BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY)	64
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
6.1. CARACTERISTICAS DEL AREA	65
6.2. FLORA Y FAUNA DE LA ZONA.....	72
6.3. ORGANISMOS INDICADORES	73
6.3.1. Revisión bibliográfica.....	73
6.3.2 En campo	86
6.4 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA.....	91
6.5 INDICE DE BMWP (Biological Monitoring Working Party)	93
6.6. INDICES DE SIMILITUD.....	101
VII. CONCLUSIONES.....	108
VIII. RECOMENDACIONES	110
IX. REFERENCIAS.....	111
ANEXO	143

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos del agua.....	28
Figura 2: Delimitación del humedal y de la localización del Jardín Botánico El Charco del Ingenio en el estado de Guanajuato, México.....	54
Figura 3: Delimitación del humedal y de la localización del Jardín Botánico El Charco del Ingenio en el estado de Guanajuato, México.....	60
Figura 4: Escurrimientos (líneas naranjas) y arroyos (líneas azules) de zonas aledañas que contribuyen al contenido hidrológico del humedal.....	61
Figura 5: Delimitación de las cinco zonas de estudio del humedal, la zona 2 esta subdividida en 2a y 2b de acuerdo con la toma de muestras de agua, al igual que la zona 5 (5a y 5b).....	62
Figura 6: Representación gráfica del humedal y los puntos fotografiados (1 al 19) presentes en la tabla 6	72
Figura 7: Representación gráfica de la relación entre el pH y los mV del humedal, ubicándolo en un ambiente Reductor Básico	92
Figura 8: Intersección de los datos de las cinco zonas del humedal, como el valor total de contaminación orgánica de acuerdo con el índice BMWP y los parámetros fisicoquímicos	96
Figura 9: Dendrograma para macroinvertebrados registrados dentro del humedal.....	103
Figura 10: Dendrograma para todas las especies registradas dentro del humedal.....	104
Figura 11: Dendrograma de las zonas de muestreo del proyecto comparado con el trabajo de Salas Rodríguez (2020).....	105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Funciones o beneficios relevantes de los humedales.....	19
Tabla 2: Causas de pérdidas de los humedales, tomado y modificado de Dugan Patrick J. (1992) y Moreno-Casasola Barceló (2012).....	23
Tabla 3: Clasificación de las familias de macroinvertebrados de acuerdo con el índice BMWP.....	33
Tabla 4: Rangos de calidad del agua según el índice BMWP.....	34
Tabla 5: Normas Oficiales Mexicanas que se consideraron para el proyecto.....	55
Tabla 6: Principales fuentes bibliográficas de donde se obtuvieron datos base para este trabajo.....	63
Tabla 7: Descripción de las cinco zonas de estudio.....	67
Tabla 8: Lista de organismos bioindicadores de calidad del agua reportados bibliográficamente en “El Charco del Ingenio”.....	74
Tabla 9: Lista complementaria de organismos bioindicadores de calidad del agua reportados en "El Charco del Ingenio".....	87
Tabla 10: Lista de bioindicadores identificados en las áreas de zonificación.....	90
Tabla 11: Parámetros fisicoquímicos de las cinco zonas del humedal.....	91
Tabla 12: Familias de macroinvertebrados bioindicadoras y su valor de contaminación orgánica de acuerdo con el índice BMWP.....	93
Tabla 13: Rango de calidad del agua en el que se encuentra el humedal en marcado de color rojo de acuerdo con el índice BMWP.....	94
Tabla 14: Valor de contaminación de cada familia de acuerdo con el IBMWP para cada zona.....	95
Tabla 15: Adicción de especies registradas dentro del humedal, localizadas por zonas.....	96
Tabla 16: Comparación entre las zonas del estudio y las zonas del estudio de Salas Rodríguez (2020) del humedal.....	105
Tabla 17: Índices de Similitud de Jaccard para Macroinvertebrados (A), todas las especies registradas (B) y para aves acuáticas (C).....	106
Tabla 18: Ilustración de las familias de macroinvertebrados encontradas que posiblemente fungen como bioindicadoras dentro del humedal de El Charco del Ingenio.....	143
Tabla 19: Ilustración de las especies encontradas que posiblemente fungen como bioindicadores dentro del humedal de El Charco del Ingenio.....	148

RESUMEN

El Charco del Ingenio es un Area Natural Protegida (ANP) ubicada en el municipio de San Miguel Allende, Guanajuato en esta ANP se encuentra un humedal artificial que es el hábitat de una gran cantidad de organismos y cuyo recurso hídrico es de importancia para el uso y consumo humano. En la actualidad las actividades antropogénicas han causado la contaminación del humedal y conocer la calidad del agua que este alberga, se ha convertido en una prioridad, sin embargo, los análisis convencionales para determinar la calidad del agua suelen ser costosos y complejos, por tal motivo la implementación de organismos bioindicadores para estimar la calidad del recurso hídrico puede ser una excelente alternativa ya que estos organismos permiten conocer, analizar y cuantificar el estado de un cuerpo de agua y sus componentes de una manera simple y de bajo costo (de la Lanza Espino, 2000a). En este estudio se determinó la calidad del agua del humedal con base a bioindicadores, a través de una investigación bibliográfica, muestreos de campo y de la implementación del índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) modificado por Pineda-López y col., (2014). Se identificaron y clasificaron diversos organismos de los cuales se seleccionaron treinta y un organismos bioindicadores de entre ellos veinticuatro son macroinvertebrados (diecisiete del grupo Insecta, dos de Crustacea, tres Mollusca y dos Annelida), dos peces, dos aves, un reptil y dos plantas acuáticas, gracias a esto fue posible estimar la calidad del agua dentro del humedal. De manera general, el humedal presento un valor de 100 de acuerdo con el índice BMWP, catalogándolo como aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada; además, se delimitó el humedal en cinco zonas para el muestreo, la zona de mejor calidad fue la uno con un valor de 86 de acuerdo con el índice BMWP, catalogada como agua de calidad regular, eutrofia, contaminada; seguida de la zona cinco con un valor de 47 (agua de calidad mala, contaminada); posteriormente, la zona dos y cuatro con valores de 31 y 22, respectivamente (agua de calidad mala, muy contaminada); y por último la zona tres con un valor de siete (agua de calidad muy mala, extremadamente contaminada). Esta calidad puede originarse debido a los distintos contaminantes provenientes de la industria, la ganadería, la agricultura y las actividades domésticas, que son vertidos sobre el cuerpo de agua a través de escurrimientos fluviales. Finalmente, los macroinvertebrados fueron los mejores bioindicadores debido a su abundancia, fácil manejo y colecta, así como al hecho de que su presencia o ausencia permite estimar la calidad del agua de una manera fácil y económica.

SUMMARY

El Charco del Ingenio is a protected natural area (ANP) located in the municipality of San Miguel Allende, Guanajuato in this ANP is an artificial wetland that is the habitat of a large number of organisms and whose water resource is important for the use and human consumption. At present, anthropogenic activities have caused the contamination of the wetland and knowing the quality of the water it contains has become a priority, however, conventional analyzes to determine the quality of the water are usually costly and complex. For this reason the implementation of bioindicator organisms to estimate the quality of the water resource can be an excellent alternative because these organisms make it possible to know, analyzing and quantifying the state of a body of water and its components in a simple and low-cost way (from Lanza Espino, 2000a). In this study, the water quality of the wetland was determined based on bioindicators, through bibliographic research, field sampling and the implementation of the BMWP index (Biological Monitoring Working Party) modified by Pineda López et al., (2014). Various organisms were identified and classified, from which thirty-one bioindicator organisms were selected, among them twenty-four are macroinvertebrates (seventeen from the insecta group, two from Crustacea, three Mollusca and two Annelida), two fish, two birds, one reptile and two plants. aquatic, thanks to this it was possible to estimate the quality of the water inside the wetland. In general, the wetland presented a value of 100 according to the BMWP index, classifying it as regular quality water, eutrophy, moderate pollution; In addition, the wetland was delimited into five zones for sampling, the best quality zone was the one with a value of 86 according to the BMWP index, classified as water of regular quality, eutrophic, contaminated; followed by zone five with a value of 47 (poor quality water, contaminated); subsequently, zone two and four with values of 31 and 22, respectively (poor quality water, highly contaminated); and finally zone three with a value of seven (very poor quality water, extremely contaminated). This quality can originate due to the different pollutants from industry, livestock, agriculture and domestic activities, which are discharged into the body of water through river runoff. Finally, macroinvertebrates were the best bioindicators due to their abundance, easy handling and collection, as well as the fact that their presence or absence allows estimating water quality in an easy and economical way.

I. MARCO TEÓRICO

1.1 ECOSISTEMAS

1.1.1 ¿Qué es un ecosistema acuático?

De acuerdo con SEMARNAT (2015) un ecosistema es “un sistema natural dinámico integrado por una comunidad formada por seres vivos cuyos procesos vitales se interrelacionan y se desarrollan sobre la base de los factores físicos de un ambiente común “, por lo tanto se puede definir un ecosistema acuático como aquellos ecosistemas donde los seres vivos desempeñan todas sus actividades en el agua, ya sea salada (mares y océanos) o dulce (ríos, lagos, arroyos, etc.) (Seguí, 2019). Asimismo, los ecosistemas acuáticos desempeñan diversas funciones ambientales, algunas de ellas son el reciclaje de nutrientes, purificación del agua, atenuación a inundaciones, aumentan y mantienen el flujo de los arroyos, ríos, etc., y proporcionan hábitat a la vida silvestre acuática (National Research Council, 1992).

Los ecosistemas acuáticos incluyen océanos, lagos, ríos, arroyos, estuarios y humedales, de los cuales cada uno de ellos dependen distintos seres vivos para su supervivencia, como peces, plantas y microorganismos. Sin embargo, estos ecosistemas son muy susceptibles por lo que pueden verse afectados fácilmente por la contaminación o algún otro factor. Estos ecosistemas son importantes en el ciclo hidrológico ya que actúan como reservorios de agua y como fuentes primarias de vapor las cuales llegan a la atmósfera y regresan a través de la precipitación y escurrimientos (SEMARNAT, 2013).

Estos ecosistemas se están enfrentando a grandes impactos provocados por la actividad humana, algunos de estos son: a) la desecación de humedales con la finalidad de ganar tierras de cultivo (Flohr Droege, 2005); b) los lagos y embalses enfrentan el problema de la escorrentía agrícola asociados a pesticidas, por lo que no se restauran o limpian por sí mismos (National Research Council, 1992); y c) la construcción de obras como presas o diques obstruyen el movimiento a los organismos acuáticos, por otro lado, los canales permiten el paso especies exóticas o invasoras causando daños negativos al ecosistema (Limburg, 2009).

Estos ecosistemas se están enfrentando a grandes impactos provocados por la actividad humana, algunos de estos son: a) la desecación de humedales con la finalidad de ganar tierras de cultivo (Flohr Droege, 2005); b) los lagos y embalses enfrentan el problema de la escorrentía

agrícola asociados a pesticidas, por lo que no se restauran o limpian por sí mismos (National Research Council, 1992); y c) la construcción de obras como presas o diques obstruyen el movimiento a los organismos acuáticos, por otro lado, los canales permiten el paso especies exóticas o invasoras causando daños negativos al ecosistema (Limburg, 2009).

Los ecosistemas acuáticos principalmente se clasifican con base en la concentración de sales en el agua, marinos o dulceacuícolas.

1.1.1.1 Clasificación de los ecosistemas acuáticos

- **Ecosistemas Marinos:** Los ecosistemas marinos presentan una su salinidad promedio de alrededor de 35 ppm y un pH de 8 a 8.3, no obstante, la salinidad puede cambiar dependiendo de las interacciones de lluvia y el aire (Sánchez, 2007). Estos sistemas son altamente dinámicos y están interconectados por una red de corrientes superficiales y profundas; abarca océanos, mares, marismas, entre otros. Los ecosistemas marinos pueden clasificarse según las zonas de vida, *zona pelágica* (asociados a las masas de agua), o *zona béntica* (incorporados a los fondos marinos) (Lara-Lara y col., 2008).
- **Ecosistemas Dulceacuícolas:** Los ecosistemas dulceacuícolas también conocidos de agua dulce son aquellos sitios donde la masa de agua contiene baja concentraciones de sales, aproximadamente de 1 ppm (Bergman, 2001), este sistema incluye lagos, pantanos, ríos, riachuelos, entre otros. Con base a su desplazamiento de las masas de agua se pueden dividir en: *lóticos* (cuerpos de agua con movimiento horizontal y recambio rápido) y *lénticos* (cuerpos de agua con movimientos convectivos y recambio lento) (Sánchez, 2007).

1.1.2 ¿Qué es una cuenca?

Las cuencas hidrográficas son unidades geográficas e hidrológicas, delimitados por un parteaguas en la cual se concentran la mayor parte de escarmentos, los cuales fluyen y desembocan en un sitio determinado, llamado punto de salida de la cuenca, este puede ser un lago (cuenca endorreica) o el mar (cuenca exorreica) (SEMARNAT, 2013).

La cuenca puede dividirse principalmente en tres zonas:

1. Cuenca Alta: se ubica en donde comienza el río principal, comprende la zona de laderas y montañas.
2. Cuenca Media: se encuentra principalmente en donde el río empieza a zigzaguear, está formada por tierras onduladas y valles.
3. Cuenca Baja: se encuentra en tierras bajas, en esta zona el caudal del río pierde fuerza por lo tanto los materiales sólidos empiezan a sedimentarse, formando llanuras.

(UICN y BRIDGE, 2018)

Por otro lado, las cuencas hidrográficas cuentan con cuatro principales elementos: el primero de ellos es el *río principal*, el cual es el que tiene una corriente natural de agua que fluye continuamente, este cuenta con un caudal variable y termina desembocando en algún lago, río o mar. El segundo son los *afluentes*, los cuales pueden estar de dos formas: a) afluente (tributario) es aquel que alimenta de agua al río principal, y se une en la zona llamada confluencia, b) efluente (emisario) son los ríos que desvían el agua de la corriente principal, estos pueden estar presentes o no en las cuencas. El tercer elemento es la *divisoria de aguas*, el cual es un límite de agua que comprende la tierra que desemboca en cualquier cuerpo de agua. Y, por último, es *el acuífero o aguas subterráneas*, estos son formaciones geológicas en donde se encuentra el agua (UICN y BRIDGE, 2018).

Además, las cuencas ayudan a entender de manera espacial el ciclo del agua, así como medir e identificar los impactos que se han almacenado debido a las actividades antropogénicas a través de la red hidrográfica, los cuales pueden generar un efecto positivo o negativo en la calidad y cantidad de agua, así como la capacidad de adaptarse de un ecosistema y la calidad de vida de los organismos (SEMARNAT, 2013). Una cuenca es aquella que cuenta con un territorio mayor a 50 mil hectáreas, mientras que una subcuenca cuenta con una superficie de 5 mil a 50 mil hectáreas y una microcuenca abarca de los 3 mil y 5 mil hectáreas, incluso cuando la topografía lo permite pueden llegar a existir microcuencas menores a las 3 mil hectáreas (Sánchez y col., 2003).

1.1.3 Ecosistemas lénticos epicontinentales

Los ecosistemas lénticos (del latín *lentus* que significa lento), son aquellos donde el agua se encuentra estancada o que no presenta corrientes continuas (Cervantes, 2007). Es decir, el agua se mueve esencialmente dentro de la depresión con movimientos conectivos y con un recambio de agua más o menos lento. Estos ecosistemas tienen un flujo no unidireccional normalizado por el calor y el viento (Peraza Escarrá, 2017).

Los ecosistemas lénticos debido al poco movimiento que tienen permiten la precipitación de sólidos suspendidos, formando grandes concentraciones de fósforo en la zona profunda. Por lo tanto, se pueden encontrar elementos como aluminio, sulfatos, hierro, calcio, compuestos orgánicos y arcillas, entre otros. De modo que, al poseer gran número de nutrientes da paso al desarrollo de comunidades planctónicas y de plantas acuáticas enraizadas y flotantes, creando una abundante ictiofauna (Peraza Escarrá, 2017).

Este tipo de ambiente cambia sus características con el paso del tiempo debido a la falta de corriente o flujo, ocasionando una reducción en la profundidad y a su vez, favoreciendo el crecimiento de la vegetación hasta agotar el agua. Debido a que el agua de las lluvias es el principal factor para renovar frecuentemente el agua estancada, puede ser un problema debido a que las estaciones de verano o periodos largos de sequía no cuentan con este recurso, incrementando el riesgo del ecosistema al secarse o extinguirse (Centro Estudios Cervantinos, 2019).

1.1.3.1 Clasificación de los ecosistemas lénticos epicontinentales

Existen distintos tipos de ecosistemas lénticos, algunos de estos son:

- **Lagos:** Cuerpos de agua naturales de condiciones lénticas y de origen continental, no mantiene comunicación directa con el mar y tienen 8 metros aproximadamente de profundidad (Cervantes, 2007). También definidos masas de agua dulce que se encuentran rodeados de tierras, generalmente están conectados con un sistema fluvial que les provee de agua o pueden ser alimentados por unos o más ríos llamados inmisarios (Chang Gómez, s.f.).
- **Lagunas:** Cuerpos de agua semejantes a los lagos, están relativamente estancados y son un poco inestables, presentan variaciones en el nivel del agua, pueden ser temporales o

permanentes y generalmente tienen una profundidad menor a los 8 metros y de forma cóncava (Cervantes, 2007). Depósito de agua natural, generalmente es arcilloso o rocoso para que el agua no se filtre, estos pueden desaparecer debido al exceso de materia orgánica o transporte de sedimentos (Gobierno Federal de México, 2012).

- **Estanques:** Cuerpos de agua de pequeña extensión, generalmente hechos por actividad antropogénica, se llenan de forma artificial mediante tuberías, con la finalidad de criar peces (Centro Estudios Cervantinos, 2019). En general con escasa corriente y ausencia de oleaje, con vegetación parcialmente continua en el área marginal terrestre hacia el agua, además, se puede formar de manera natural a lo largo de los márgenes de un canal como resultado de una obstrucción corriente arriba ya sea de un gran árbol, un tapón de raíces o rocas (Gobierno Federal de México, 2012).
- **Humedales:** Zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres, forman áreas de inundación temporal o permanente, con vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional (Ley de Aguas Nacionales, 1992). De origen continental de profundidad menor a los 6 metros (Goitía, 2010). De acuerdo con la Secretaría de la Convención de Ramsar (2013) los humedales son extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, ya sean de origen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo extensiones de agua marina que no exceda los 6 metros de profundidad en marea baja. Estos se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta de aguas poco profundas.
- **Pantanos:** Depósitos de agua estancada, tienen poca profundidad, sin embargo, poseen abundantes especies vegetales (Centro Estudios Cervantinos, 2019). Zonas ricas en detritos orgánicos y pobres en minerales, generalmente se encuentran en cuencas de poca profundidad, en las orillas de lagunas, cerca de ríos de poca gradiente y en zonas con pocos cambios de mareas. Los pantanos pueden ser de agua dulce, salobre o salada, presenta una abundante flora de tierras pantanosas emergente, flotante y sumergida y desprovistas de árboles. Esta vegetación puede estar formada por juncos, zacatales y musgos (Gobierno Federal de México, 2012).
- **Charcas:** Pequeños cuerpos de agua habitualmente duran poco en el medio ambiente, sin embargo, sirven como fuente hídrica para muchos organismos (Centro Estudios

Cervantinos, 2019). También definida como lámina de agua con una profundidad menor a 60 centímetros y extensión superior a la de un charco, no obstante, inferior a la de una laguna, con longitudes inferiores de aproximadamente 50 metros o superficies menores a media hectárea. Además, suele ser un humedal pasajero ligado a la acumulación de agua de lluvia o de las mareas en áreas de recargas no conectadas, con presencia de flujos ascendentes de agua subterránea (Gobierno Federal de México, 2012).

1.1.4 Humedales

Existen diversas definiciones de los humedales y estas están formuladas a dependencia de la finalidad que se tenga, por ejemplo, en 1969 la Ley de humedales de marea definió a los humedales como áreas que bordean o se localizan debajo de las mareas, como las ciénagas, marismas, pantanos, praderas o cualquier otra tierra baja sujetas a la acción de las mareas, en donde pueden crecer algunas plantas (Lefor y Kennard, 1997).

Los humedales también suelen definirse como: tierra de transición entre sistemas terrestres acuáticos el cual el nivel freático generalmente está en la superficie o cerca de ella, o la tierra está cubierta por aguas poco profundas. Los cuales deben de contar con uno o más de estos atributos: 1) la tierra tiene que contar con plantas hidrofitas, al menos periódicamente; 2) el sustrato debe de ser suelo hídrico no drenado; y 3) el sustrato no debe ser suelo sólido y debe de estar saturado de agua o cubierto por agua poco profunda en alguna época del año (Fretwell y col., 1996).

Según con Kanaujia y col., (2014) los humedales son tierras de transacción entre sistemas terrestres y acuáticos donde el nivel freático se encuentra principalmente cerca, en la superficie o en la tierra que está cubierta por aguas pocas profundas. Además, mencionan que a nivel mundial los humedales se refieren a todas aquellas áreas con agua de poca profundidad de forma estacional, periódica o permanente, como marismas, estanques, pantanos, lagos, entre otros. Igualmente se definen como aquellas áreas que están inundadas o saturadas de agua superficial o subterránea generalmente con una duración suficiente que favorezca el crecimiento de la vegetación que está adaptada a este tipo de condiciones ambientales. Los humedales incluyen principalmente pantanos, marismas, estanques y zonas similares (Fretwell y col., 1996)

De acuerdo, con la Secretaría de la Convención de Ramsar (2016) en su Artículo 1.1 definen a los humedales como aquellas “extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, de origen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad no exceda de 6 metros en marea baja”. Asimismo, en su Artículo 2.2 agregó que los humedales “podrán comprender zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal”.

Por otro lado, la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, establece en el Artículo 3 fracción XXX que, los humedales son zonas de transición entre ecosistemas acuáticos y terrestres los cuales forman áreas de inundación temporal o permanente , sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominante hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanente húmedos por la descarga natural de acuíferos.

Universalmente no existe una definición absoluta de lo que es un humedal debido a la gran diversidad que existe de estos, los humedales son distintos en cuanto a su tamaño, forma, tipo de vegetación, suelo y condiciones hidrológicas, además que provee de paisajes distintivos y entornos climáticos característicos (Hanson y col., 2008).

Los humedales son importantes e incluso esenciales para la salud, el bienestar y la seguridad de quienes viven junto a ellos (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016), por lo tanto, su importancia radica en sus características ecológicas, ya que se consideran como fuente de vertedero y transformación de diversos materiales biológicos y químicos (Cervantes, 2007). Tiene funciones como almacenamiento de agua, protección contra tormentas, amortiguamiento de sequías, depuración de agua, retención de nutrientes, equilibrio de las condiciones climáticas locales, y demás (Tabla 1) (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016). Por esta razón, se les denomina “riñones” de tierra por su amplia capacidad de filtrar y absorber ciertos contaminantes y sedimentos dentro de los ciclos químicos e hidrológicos, además, albergan una gran diversidad faunística y florística silvestres (Cervantes, 2007; Irwin y col., 2018).

Tabla 1: Funciones o beneficios relevantes de los humedales, tomado de Fox Pedraza (2011).

MEDIO	FUNCIONES/BENEFICIOS
Hidrología	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimiento de agua potable • Control de inundaciones • Mejoran la calidad de las aguas superficiales y subterráneas • Descarga y recarga de capas freáticas • Mitigación al cambio climático • Regulación del clima, micro y macro
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Retención de sedimentos tóxicos • Transformación de nutrientes • Secuestro de carbono • Control de erosión • Descomposición, transporte, dilución y almacenaje de contaminantes
Flora y fauna	<ul style="list-style-type: none"> • Reservorios de biodiversidad • Proveen lugares de hábitat silvestre • Corredores para aves migratorias • Polinización
Sociocultural	<ul style="list-style-type: none"> • Provisto de espacios abiertos • Valor paisajístico y embellecimiento escénico • Valor patrimonial histórico y cultural • Uso recreacional • Educación ambiental e investigación • Materias primas (fibras, plantas medicinales, fertilizantes, etc.)

1.1.4.1 Clasificación de los humedales

Se pueden establecer varios criterios para clasificar los humedales, ya sea por depósitos de agua, características edafológicas, hidrológicas y bióticas, suelos predominantes hídricos, inundación o saturación del suelo de forma permanente o temporal y comunidades vegetales hidrófilas, entre otros (Garcidueñas Gómez, 2016). Sin embargo, se reconocen seis principales tipos de humedales de acuerdo con la Secretaría de la Convención de Ramsar (2016):

1. *Marinos*: zonas de litorales expuestas a flujos de aguas oceánicas, es decir, son las áreas que se inundan por las mareas más altas hasta el límite posterior de fanerógamas marinas o arrecifes de coral, o entre cero o seis metros de profundidad en ausencia de mareas

- (Garcidueñas Gómez, 2016). Incluye humedales costeros, lagunas costeras, costas rocosas, praderas de pastos marinos y arrecifes de coral (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016).
2. *Estuarinos*: son áreas costeras que tienen conexión con mar abierto, se caracterizan por la dilución de agua marina con agua dulce provenientes del continente y de las llanuras. La salinidad va desde los 3 a 25 ppm (Garcidueñas Gómez, 2016). Comprende marismas de marea y bajos intermareales de lodo, deltas y manglares (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016).
 3. *Lacustres*: son cuerpos de agua formados en depresiones topográficas o drenaje de origen natural o artificial, pueden presentar vegetación con plantas emergentes, flotantes, musgos, líquenes, etc. La salinidad puede llegar hasta 5 ppm (Garcidueñas Gómez, 2016). Incluye humedales asociados con lagos (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016).
 4. *Ribereños*: son canales o conductos abiertos, de origen natural y artificial, con flujo de agua continuo, la salinidad debe ser menor a 5 ppm (Garcidueñas Gómez, 2016). Comprende a humedales adyacentes a ríos y arroyos (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016).
 5. *Palustres*: también llamado pantanosos, incluye marismas, pantanos y ciénegas (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016).
 6. *Artificiales*: son estanques para acuicultura y ganadería, tierras irrigadas, canales de drenaje, arrozales, pozos de minería, entre otros, debido a la flora y fauna que mantienen son considerados como humedales (Arce Cardona, 2018).

Por tales motivos la pérdida de humedales podría causar problemas en el almacenamiento de agua, su flujo y su conectividad, asimismo, podría provocar una pérdida irreparable de especies tanto nativas como exóticas (aunque estas se consideren peligrosas para la biodiversidad de estos) y problemas biogeoquímicos, entre otros muchos más (Evenson y col., 2018).

1.1.4.2 Alteración de humedades

Debido a las características y singularidades que presentan los humedales son afectados fácilmente por las variaciones climáticas y por las actividades del ser humano (Pachón y col., 2015), que con el paso de los años la pérdida y degradación de los humedales han incrementado (Kingsford y col., 2016). Esto se debe al desarrollo socioeconómico y otras presiones que se han dado debido al

cambio de uso de suelo en las áreas de humedales. De acuerdo estudios que se ha realizado, demostraron que el 58% de la pérdida de los humedales se debe a la expansión de las tierras agrícolas (Cui y col., 2020). Además, la Convención de Ramsar sobre los humedales reportó que un cuarto de las especies de los humedales está en peligro de extinción y el 35% de los humedales naturales se han perdido consecuencia del drenado y el cambio de suelo (Liu y col., 2020).

Existen alteraciones antropogénicas y naturales, en el caso de las actividades humanas, estas pueden ser de forma directa o indirecta, algunas de estas acciones son: el drenaje, dragado, canalización de arroyos, construcción de diques y presas, la agricultura, la explotación forestal, los contaminantes, la liberación de sustancias tóxicas, la introducción de especies exóticas, la ganadería, la urbanización, entre otras. Principalmente, la intensificación agrícola y el cambio de uso de suelo ha generado una extensa reducción de pantanos y demás áreas de humedales permanentes, provocando la disminución de extensión espacial y la capacidad de almacenamiento de agua y mitigar la contaminación de algunos compuestos, de esta manera, distintas funciones ecológicas que se realizan dentro de un humedal se ven severamente afectadas (Cui y col., 2020).

Por otro lado, las amenazas producidas de manera natural son por la erosión, el aumento del nivel del mar, las sequías, los huracanes, entre otros, los cuales aumentaran con el cambio climático global (Moreno-Casasola Barceló, 2012).

Una de las amenazas más comunes es la modificación de la hidrología de un humedal, pues al existir una alteración de flujo de un río, así como la degradación y alteración in situ de los humedales consecuencia de construcciones de diques o presas, así como la desviación del agua, ha destruido o reducido drásticamente el área de los humedales a nivel mundial (Kingsford y col., 2016). Por ejemplo, en México la cuarta parte del volumen de agua del país proviene los humedales, provocando un impacto significativo en la calidad del agua y la estacionalidad de la inundación en los humedales cuenca abajo debido al represamiento del agua. De la misma forma, al extraer agua subterránea para las ciudades, industrias y actividades agropecuarias, ha ocasionado modificaciones hidrológicas en los humedales además de que ha alterado su funcionamiento (Moreno-Casasola Barceló, 2012).

Por otro lado, la introducción y movilización de contaminantes (herbicidas, pesticidas y fungicidas) afecta la calidad del agua, de la misma manera a diversos organismos que habitan dentro del humedal. Por ejemplo, el exceso de nutrientes beneficia el rápido crecimiento de plantas

y algas, las cuales pueden afectar a otros organismos acuáticos, además de que pueden bloquear la luz evitando el crecimiento para otro tipo de vegetación (Department of the Environment, 2016). Los humedales son utilizados como fuentes de extracción de leña para uso doméstico generando una destrucción del hábitat a través de la apertura del dosel, provocando que la luz solar entre con mayor facilidad, ocasionando un cambio en las características químicas del agua (Correa-Araneda y col., 2011).

En el caso de las acciones producidas naturalmente como la erosión, producto del incremento de los sedimentos que bloquean la luz a las plantas acuáticas evitando su crecimiento y sofocando la fauna acuática (Department of the Environment, 2016). De la misma manera, las actividades como la explotación forestal no sustentable, la agricultura y la urbanización sobre humedales utilizando geotextiles modifican el uso del suelo (Moreno-Casasola Barceló, 2012). Otra perturbación hacia el suelo son las actividades como la agricultura, silvicultura o ganadería, debido a que estos procesos contaminan por el uso constante de pesticidas, fertilizantes y la generación de compuestos nitrogenados productos de la ganadería. Y dado que estos elementos tienden a llegar a los cuerpos de agua a través del arrastre superficial, lixiviación, precipitaciones, etc., también influyen en la calidad del agua del humedal (Correa-Araneda y col., 2011).

Una de las acciones indirectas del ser humano es la eutrofización, consecuencia de la escorrentía agrícola y de la erosión provocada por la deforestación y cultivos aguas arriba (Moreno-Casasola Barceló, 2012). Asimismo, la utilización de fertilizantes en la agricultura, así como la quema de combustibles fósiles, quema de biomasa, etc., son considerados como una fuente de carga de nutrientes en los sistemas de humedales (Simonit y Perrings, 2011). En el caso de la agricultura, drenan humedales para hacer uso del agua, no obstante, provoca daños de largo tiempo debido a que estos ecosistemas no recuperan de inmediato el agua, ocasionado que haya sequías. Aunado a esto, afecta la calidad de agua del sistema y afecta el transporte de los nutrientes a los organismos de este hábitat (Smith y col., 2020).

Otro impacto antropogénico es la contaminación por metales pesados como el cobre (Cu), plomo (Pb) y el cadmio (Cd) son persistentes y muy tóxicos en los ecosistemas, ya que generan problemas en la biomagnificación en las redes tróficas, es decir, estos metales se pueden encontrar en menor cantidad en un organismo y conforme avanza la red trófica estos elementos se acumulan en los seres vivos. Estos metales pesados provienen principalmente de aguas residuales domésticas,

escorrentía de tormentas, lixiviación de vertederos, actividades marítimas y depósitos atmosféricos, causando daños en las estructuras tróficas (Tabla 2) (Rivera y col., 2019).

Tabla 2: Causas de pérdidas de los humedales, tomado y modificado de Dugan Patrick J. (1992) y Moreno-Casasola Barceló (2012).

Actividades del ser humano	Directas	<ul style="list-style-type: none"> • Drenaje • Uso forestal • Dragado y canalización de ríos para la navegación • Rellenado para depósitos de desechos solidos • Construcción de caminos • Construcción de infraestructura como residencias o fábricas • Construcción de diques, represas y malecones • Fuentes de agua para irrigación • Explotación de suelos de humedales para extraer carbón, piedra, u otros materiales • Extracción de aguas subterráneas
	Indirectas	<ul style="list-style-type: none"> • Desvío de sedimentos por medio de represas, canales profundos o cualquier otra infraestructura. • Alteración hidrológica por canales, caminos, etc. • Hundimientos provocados por extracción de aguas subterráneas, gas, petróleo, etc. • Eutrofización • Colmatación
Causas naturales		<ul style="list-style-type: none"> • Hundimiento • Aumento del nivel del mar • Huracanes y tormentas • Erosión • Sequías • Efectos bióticos

Aunado a todo lo anterior, el cambio climático es uno de los fenómenos que atenta contra los humedales, debido a que la hidrología se ve alterada y el aumento de la temperatura puede cambiar la biogeoquímica y las funciones ecológicas de un humedal siendo este muy perjudicioso para la flora y fauna del lugar (Salimi y col., 2021). Y no solo para los seres vivos sino para los humanos ya que los humedales desempeñan un papel importante en la regulación atmosférica de los gases de efecto invernadero, los cuales contribuyen en gran cantidad al calentamiento global.

Ahora bien, cuando los humedales se ven afectados por el cambio climático estos cambian sus funciones biogeoquímicas lo que trae desafíos ecológicos, pues al existir una alta temperatura, disminuye el nivel del agua, trayendo consecuencias como la generación de mayor exportación de

carbono orgánico, el cual disminuye la calidad del agua. Además, debido a la descomposición hay una alta tasa de respiración de la materia orgánica descompuesta por microorganismos, conduciendo la liberación de carbono a la atmosfera (Salimi y col., 2021).

Por otra parte, se ha observado que los ecosistemas de los humedales naturales han sido perturbados por especies exóticas, más que los humedales artificiales (Hong y col., 2021), esto se debe a que las condiciones son más adecuadas, por tanto, provoca un desplazamiento de las especies nativas del sitio ya que las especies se vuelven más competitivas en el ambiente. Aunado a esto, la intensificación agrícola, el pastoreo, la fragmentación y degradación de los humedales, por mencionar algunos procesos, están disminuyendo cada vez más a diversidad y riqueza de especies.

De acuerdo con Hong y colaboradores (2021) en un estudio que realizaron se observó que en algunas especies de plantas se desarrollaron mejor en suelos que presentaban mayor concentración de fosforo. Este resultado coincidió con Roy y col., (2019) en donde encontró que a mayor cantidad de fosforo en el suelo con frecuencia favorecía a especies perennes y exóticas en los humedales.

1.1.4.3 Calidad de agua en humedales

A lo largo de los años las preocupaciones por los daños y la pérdida de los humedales consecuencia de la rápida urbanización, principalmente en regiones urbanas han ido incrementando por lo que se ha visto afectada la calidad del agua. Existen muchos factores que pueden alterar la calidad del agua superficial de un humedal, como la contaminación proveniente de descargas de aguas residuales domésticas e industriales, la contaminación de escorrentías, el depósito de contaminantes atmosféricos (Cui y col., 2020).

Sin embargo, estos sistemas también pueden mejorar la calidad de agua pues, el tiempo de retención hidrológica permite que los procesos ecológicos de los humedales puedan remover ciertos contaminantes (Shoemaker y col., 2017), además, pueden eliminar fosforo y nitrógeno, degradar hidrocarburos, diluir la acumulación de partículas sedimentadas a través de comunidades biológicas y/o plantas acuáticas (Cui y col., 2020).

Los humedales son factores claves en el ciclo hidrológico, pues recibe agua por precipitación, de aguas subterránea o mediante arroyos y ríos, y estas pueden desviarse a otros cursos de agua superficiales, o por infiltración mediante el suelo formado por depósitos de agua subterránea o a través de transpiración y evaporación de las plantas (Frers, 2009).

Cuando el agua llega a los humedales, el flujo del agua y la liberación de esta es más lenta, por este motivo es que los humedales actúan como reguladores de los excesos y deficiencias hídricas, además de que ayudan a mitigar las crecientes y la recarga y descarga de agua subterránea. Estos procesos se hacen a través de la retención, transporte y transformación de los nutrientes, así como los sedimentos y contaminantes, los cuales forman parte esencial del ciclo de la materia y en el mantenimiento de la calidad del recurso hídrico (Frers, 2009).

El proceso de la mejora de la calidad del agua en los humedales comienza con la pérdida en la velocidad del flujo, por lo que permite que las partículas en suspensión decanten, disminuya la turbidez y aumente la filtración. De esta manera, los seres vivos que viven en este ecosistema son los encargados de los procesos de depuración, algunos de estos organismos son microorganismos, algas y plantas superiores. Estos microorganismos generalmente se albergan en la superficie de las partículas, sedimentos y partes sumergidas de las plantas. Por lo tanto, organismos como hongos y bacterias son necesarios para llevar a cabo la depuración, ya que intervienen en la descomposición de la materia orgánica. Asimismo, la vegetación desempeña un papel en los procesos físicos que intervienen en la mejora de la calidad del agua, debido a que actúa como una barrera física que reduce la velocidad del influente por lo que, ayuda a retener sólidos entre sus tallos y a su vez las plantas pueden absorber diversos nutrientes para su propio desarrollo, de esta manera, eliminan nitrógeno y fosforo, además de otros micronutrientes y oligoelementos (Miglio-Toledo, 2017; Silva R y Zamora-Zamora, 2005).

En el caso de las plantas, de acuerdo con Xing y col., (2020) las plantas que habitan en humedales son capaces de purificar la calidad del agua al afectar la composición y descomposición de contaminantes en humedales mediante los procesos de asimilación y desnitrificación. Y se han hecho estudios en donde se hace una combinación de plantas que habitan en humedales con diferentes condiciones de vida pueden mejorar el proceso de purificación. Asimismo, el proceso de purificación de las plantas puede variar dependiendo de las distintas contracciones de aguas

residuales. Es decir, las plantas tienen la capacidad de absorber algunos metales pesados, que a su vez previene que estos sean depositados o re-suspendidos en el ecosistema (Hong y col., 2021).

Por otro lado, el metabolismo microbiano es una de las principales vías para degradar y eliminar el nitrógeno, el fósforo y demás contaminantes orgánicos en humedales (Xing y col., 2020). Por ejemplo, el fósforo puede provocar un crecimiento excesivo de algas que disminuye la claridad, calidad, funcionalidad y recreación del humedal (Irwin y col., 2018), por tanto, este es removido principalmente por el intercambio de iones y el proceso de absorción (Xing y col., 2020).

De acuerdo con Cui y col., (2020) muchas áreas de humedales están influenciada por prácticas agrícolas las cuales carecen de un correcto seguimiento y falta de información sobre los enfoques de muestreo e índices de calidad de agua, lo que dificulta que no haya un buen manejo o control de este recurso, por este motivo la evaluación adecuada de la calidad de agua permite identificar que las funciones ecológicas del humedal se estén llevando a cabo sin ningún problema.

1.2 IMPORTANCIA DEL AGUA

1.2.1 Importancia del recurso del agua

El agua es una molécula formada por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, la cual, se encuentra alrededor de todo el mundo (McMurry, 2012). Por otro lado, este recurso es definido como una sustancia líquida desprovista de olor, sabor y color, que se encuentra en estado parcialmente puro en la naturaleza y cubre aproximadamente un 71% de la superficie de la Tierra (Ondarse, 2021).

La presencia de agua líquida en la tierra permitió el surgimiento y dispersión de la vida en el planeta por ende, todos los organismos están compuestos por un alto porcentaje de agua, este recurso es un componente esencial en la estructura y funcionamiento de las células, tejidos, órganos, aparatos y sistemas que conforman a los seres vivos (Campos, 2019). Por ejemplo, los insectos están compuestos de agua de un 45%, los mamíferos en un 70% y las medusas en un 95% (Hernández, 2010). De esta manera la importancia de este recurso sobre los seres vivos radica en la participación de distintas funciones bioquímicas, fisiológicas y morfológicas de los organismos (SEMARNAT, 2013).

Por esta y muchas más razones el agua es esencial para la vida ya que todos los organismos

dependemos de ella, lamentablemente en la actualidad el agua presenta un problema de escasez y contaminación, las aguas superficiales y subterráneas se contaminan por descargas de aguas municipales e industriales sin previo tratamiento, así como, de arrastres de agua provenientes de zonas en donde se lleva a cabo actividades agrícolas, ganaderas, industriales, etc., generando una mala calidad del agua para su uso y escases de esta (SEMARNAT, 2013). Por este motivo el agua se encuentra amenazada por la urbanización que crece de una manera descontrolada, el desarrollo industrial, la deforestación, la transformación de ecosistemas para uso agrícola y ganadero, etc.(Hernández, 2010). Debido a lo anterior, la actividad humana ejerce una presión directa o indirectamente sobre el ciclo hidrológico lo que ha traído grandes consecuencias negativas no solo sobre los humanos si no en los ecosistemas y su biodiversidad (SEMARNAT, 2016).

1.2.2 Fuentes del agua dulce

Existen dos fuentes de las cuales provienen el agua, la subterránea y la superficial. El agua subterránea se encuentra justo bajo el nivel freático en suelos y formaciones rocosas totalmente saturadas. Los acuíferos son formaciones geológicas que presentan una permeabilidad adecuada, es decir, una porosidad y fracturación para transmitir y producir agua (Arizabalo y Díaz, 1991). La cantidad y calidad del agua puede diferir de un acuífero a otro y dentro del mismo sistema puede cambiar (Rodríguez Ruiz, 2001). El agua que emana de esta fuente generalmente requiere en menor grado de tratamientos para consumo humano, debido a que las impurezas se eliminan de manera natural conforme el agua atraviesa las capas del suelo y subsuelo (Groiler, 1985a)

Las aguas superficiales son aquellas que fluyen o se almacenan en la superficie de la corteza terrestre, estas alimentan a ríos, lagos o embalses artificiales como presas, bordos y canales(CONAGUA, 2018a). Generalmente, el agua que proviene de esta fuente demanda tratamientos para consumo humano(Groiler, 1985b).

1.2.3 Usos del agua

Existen dos tipos de uso de agua, el uso consuntivo y el uso no consuntivo. El primero es aquel donde hay pérdidas del agua (CEMDA y col., 2006) en otras palabras, existe un consumo de agua con proporciones de retorno parcialmente alteradas o contaminadas (Aragón García, 2012) y por ende ya no regresa la misma cantidad de agua que al inicio, ejemplos de estos usos son industriales,

agrícola, pecuario y públicos urbanos (doméstico, comercial, etc.).El segundo uso es aquel en donde no hay pérdidas de la cantidad de agua, es decir, no se extrae ni consume el agua (Aragón García, 2012), por lo tanto, la misma cantidad de agua que sale es la misma o más o menos la misma que regresa, como el uso hidroeléctrico, acuicultura, navegación y ambiental (Figura 1) (CEMDA y col., 2006).

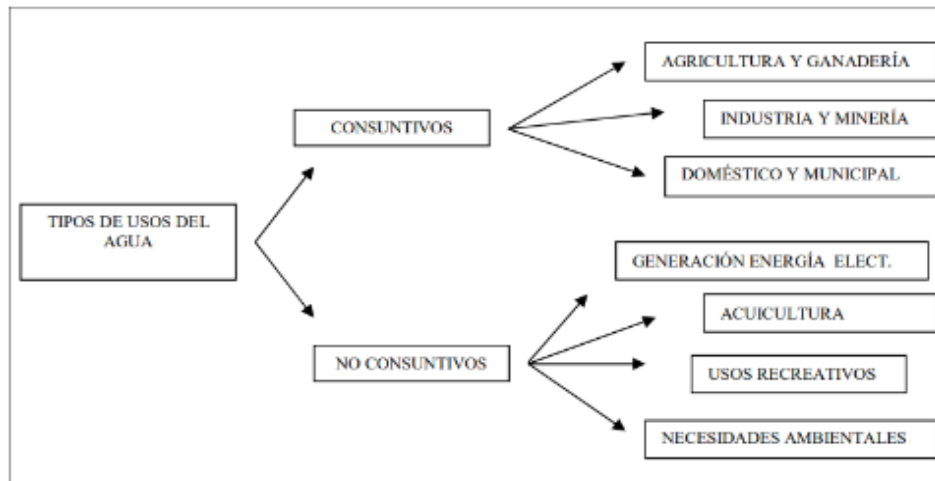


Figura 1: Tipos de usos del agua. Tomado de Aragón García, 2012.

1.2.4 Importancia del ciclo del agua

El ciclo del agua implica cambios de estado y flujos de materia y energía, se puede considerar como un conjunto de diferentes mecanismos entre los que se encuentra la precipitación, la infiltración, la evaporación, entre otros. Si bien, no existe un inicio o un fin en este ciclo se suele comenzar a estudiar desde la atmósfera con relación a la precipitación que puede decantar sobre mares o cuerpos de agua superficial o sobre cuerpos rocosos que terminaría convirtiéndose en una fuente de agua subterránea. La evaporación junto con la evapotranspiración son elementos generales pero fundamentales del ciclo hidrológico(Zapata, 2020).

A pesar de ser un tema bastante estudiado en ocasiones se deja de lado su importancia para los seres vivos, debido a que el agua interactúa con elementos del medio ambiente como plantas o animales, dependiendo su supervivencia de este recurso. Debido a que las características de los biomas dependen en cierto grado de la cantidad de agua y en qué estado se encuentre, los organismos pueden adaptarse al medio, por ende, un cambio en su hábitat provocaría un

desequilibrio ecológico e hidrológico, causando el desplazamiento de una especie o incluso su extinción (Gómez y col., 1968).

En la actualidad, prácticamente todos los ecosistemas han sido modificados por la humanidad debido a la contaminación que genera. De manera particular, la contaminación del agua puede causar la desaparición de biodiversidad en ecosistemas terrestres o acuáticos, representando un peligro para la cadena alimenticia de flora y fauna, así como del ser humano (Acciona, 2019).

1.2.5 Los problemas de contaminación del agua y sus efectos deteriorantes

Los problemas de contaminación del agua se intensificaron después de la Segunda Guerra Mundial, cuando aumentó la población y la industrialización (Henry, 1999). Actualmente, existen varias actividades que contribuyen a la contaminación hídrica, principalmente la presencia de agentes contaminantes de origen antropogénico, los cuales provocan una alteración en el ciclo hidrológico, al no tener la capacidad adecuada de regularse y depurarse de los contaminantes. Causando que el agua sea dañina para, la agricultura, la pesca, el consumo humano, la flora y fauna, entre otros (Fundación Aquae, s.f.).

Un ejemplo de lo anterior, son las aguas negras, las cuales son vertidas en lagos, ríos y océanos derramando grandes cantidades de productos químicos como detergentes, materia fecal, restos de alimentos y basura causando daños a la vida acuática, debido a que varios organismos no resisten algunos compuestos químicos. Por lo tanto, orilla a los organismos al desplazamiento de otro sitio o en el peor de los casos a la extinción de este, de lo contrario, puede favorecerse alguna especie y ocasionar un impacto al ecosistema acuático, ya sea negativo o positivo.

Otro problema, son los contaminantes de la actividad agropecuaria, como los abonos, plaguicidas, pesticidas y herbicidas, que debido a su presencia aumenta el deterioro de las aguas al contener compuestos químicos como fosfatos y nitratos, los cuales son liberados y disueltos en el agua de lluvia y riego, siendo dispersados por el viento y lluvia afectando la calidad del agua para la flora y fauna (Fundación Aquae, s.f.). Asimismo, estos contaminantes se pueden filtrar a través de los canales subterráneos que generalmente terminan en las redes de agua potable para consumo humano (Ingredientes que Suman, 2016).

De la misma forma, la actividad industrial al utilizar grandes cantidades de agua para sus procesos de refrigeración, transporte, procesamiento, entre otros, genera desechos con altos niveles de contaminantes, los cuales son derramados en cualquier cuerpo de agua, contaminándolos de petróleo, hidrocarburos, breas, aceites minerales, fluoruros y elementos tóxicos (plomo, mercurio y radioactivos). Además, las industrias energéticas vierten agua, induciendo un aumento de la temperatura que a su vez disminuye la cantidad de oxígeno en el agua, generando un impacto para los microorganismos acuáticos (Fundación Aquae, s.f.).

1.3 CALIDAD DEL AGUA

Existen distintas interpretaciones sobre el concepto de calidad del agua, debido a las controversias que hay en cuanto a las distintas metodologías que brinda información cualitativa y cuantitativa de este recurso. Por lo tanto, puede entenderse desde el enfoque funcional como calidad de agua a la capacidad nata que tiene el recurso hídrico para mantener ciertos usos que se obtienen de ella. O desde la perspectiva ambiental se entiende como aquellos atributos que se dan en el agua para sostener un ecosistema en estado de equilibrio (Ministerio de Medio Ambiente, 2000).

La calidad del agua también puede definirse de acuerdo con las características fisicoquímicas o microbiológicas, así como la aceptación o rechazo de sus valores. La calidad fisicoquímica comprende la determinación de compuestos químicos específicos que puedan causar algún daño a la salud. Por otro lado, desde el punto de vista microbiológico se basa en la determinación de macroorganismos que provoquen algún daño directo al ser humano o que su presencia indique la probabilidad de que existan otros, como es el caso de los coliformes fecales (Zhen Wu, 2009).

Asimismo, se entiende calidad de agua a los atributos que tiene el recurso hídrico, de tal forma que cumple con los requerimientos de aceptabilidad o rechazo para ciertos usos. Estos factores incluyen los componentes físicos, químicos y biológicos (Chang Gómez, s.f.).

Por lo tanto, la calidad de cualquier cuerpo de agua ya sea lotico y/o léntico dependerá de los aspectos geomorfológicos, geológicos y litológicos de la región, generando las condiciones fisicoquímicas de sistema hídrico e incluso determina el uso que se le puede dar. No obstante, las características fisicoquímicas del agua pueden estar en constante cambio a lo largo del tiempo y

espacio, esto dependerá de la cuenca, los cuales pueden cambiar de manera antropocéntrica o natural (Espejo, 2017).

El término calidad de agua es relativo, es decir, un cuerpo de agua suficientemente limpio que permite la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede ser inadecuada para la industria. Por lo tanto, para determinar si el agua califica para un propósito en particular, su calidad debe especificarse en cuestión al uso que se le dará (Pérez y col., 2017).

Un índice de calidad del agua (ICA) es una herramienta que permite identificar el grado de contaminación que existe en el recurso hídrico a la fecha del muestreo, expresado en porcentaje de agua pura (Gerencia de la Calidad del Agua, 2019), así, el agua que es altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0%, en contraste al agua que se encuentre en buenas condiciones cuyo valor del índice será cercano al 100% (Espinosa y Rodríguez, 2016). Por otro lado, puede ser representado por números, rangos, descripciones verbales, símbolos o colores (Fierro y Caballero, 2015).

Este índice fue desarrollado en 1970 por Brown y colaboradores, y fue mejorado por Deininger para la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos en 1975 (Samboni y col., 2007). En México el ICA (Abarca Morales, 2007; CONAGUA, 2022). consiste en la evaluación de 18 parámetros fisicoquímicos entre ellos están coliformes fecales, fosfatos, nitratos, pH, temperatura, sólidos sedimentables, etc. Este índice considera valores en una escala de 0 a 100% de acuerdo con la siguiente clasificación:

- ♣ ICA mayor a 90: *Excelente*
- ♣ ICA mayor a 70 y menor o igual a 90: *Aceptable*
- ♣ ICA mayor a 50 y menor o igual a 70: *Contaminada*
- ♣ ICA mayor a 20 y menor o igual a 50: *Fuertemente contaminada*
- ♣ ICA menor o igual a 2: *Inaceptable*

1.3.1 Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party)

El agua es considerada como el más vulnerable de los recursos naturales, además de significar un factor limitante para la realización de las diferentes actividades antrópicas de orden cotidiano e

industrial. Durante muchos años se han desarrollado varias alternativas para la determinación de la calidad del agua y en gran mayoría están basados en el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos, sin embargo, debido a sus altos costos, resulta imposible llevar a cabo un monitoreo frecuente. De manera alternativa, en los últimos tiempos se ha destacado la cualidad de los organismos que habitan los cuerpos de agua para revelar las condiciones ecológicas cambiantes o estables del recurso, y su relación con la medición de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos insitu y exsitu. (Leaño Sanabria y Pérez Barriga, 2020; Sánchez Herrera, 2005).

El uso de organismos en la evaluación de la calidad de agua ha sido ampliamente utilizado; sin embargo, de todos los grupos considerados en los monitoreos biológicos de las aguas continentales, los macroinvertebrados acuáticos son los más recomendados (Alba Tercedor y col., 2002), esto se debe a que ofrecen numerosas ventajas, los macroinvertebrados acuáticos son organismo que están asociados en alguna etapa de su ciclo biológico a cuerpos de agua. El término de macroinvertebrados acuáticos se emplea para nombrar a aquellos animales invertebrados, que, por su tamaño relativamente grande, son retenidos por redes de luz de malla de entre 250-500 μm . En los macroinvertebrados acuáticos están incluidos diversos grupos de invertebrados como moluscos, lombrices, sanguijuelas, platelmintos, crustáceos, ácaros y fundamentalmente los estados juveniles de varios ordenes de insectos (Leaño Sanabria y Pérez Barriga, 2020; Segnini, 2003).

El Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) es un método basado en el principio de que los diferentes macroinvertebrados acuáticos que presentan distinta sensibilidad o tolerancia a los contaminantes, particularmente a contaminantes orgánicos, por ejemplo el enriquecimiento de nutrientes que puede afectar la disponibilidad de oxígeno disuelto. Este índice se basa en una puntuación de acuerdo con los macroinvertebrados y el resultado del área de trabajo respecto a los niveles de identificación, zonificación, abundancia y método de muestreo. Es importante reconocer que la clasificación de sensibilidad/tolerancia variará para los diferentes tipos de contaminación (Hawkes, 1998).

Este índice ha sido ampliamente utilizado alrededor del mundo como una herramienta para dictaminar y determinar la calidad del agua con relación a la contaminación orgánica, utilizando familias de macroinvertebrados y categorizándolo en rangos y asignándoles un valor numérico. Para aplicar este índice se tienen que clasificar las familias de macroinvertebrados presentes en el

Tabla 3: Clasificación de las familias de macroinvertebrados de acuerdo con el índice BMWP.

FAMILIAS	PUNTUACIÓN
O: Polythoridae D: Blephariceridae; Athericidae E: Heptageniidae P: Perlidae	9
T: Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae E: Leptophlebiidae O: Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae T: Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae	8
C: Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae O: Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae T: Philopotamidae Cr: Gammaridae	7
O: Libellulidae M: Corydalidae T: Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae E: Isonychidae	6
L: Pyralidae T: Hydropsychidae; Helicopsychidae; Dryopidae C: Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae E: Leptohyphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baetidae Cr: Crustacea Tr: Turbellaria	5
C: Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae D: Dixidae; Simulidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae H: Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae O: Calopterygidae; Coenagrionidae E: Caenidae Hidracarina Hi: Hidracarina	4
C: Hydrophilidae D: Psychodidae Mo: Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae A: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae Cr: Asellidae	3
D: Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae	2
D: Syrphidae A: Oligochatea	1

Recuperado de Protocolo de muestreo de macroinvertebrados en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012). Versión 1.0. agosto 2014.

cuerpo de agua a estudiar y de ser necesario hacer ajustes de acuerdo con la región geográfica en la que se encuentre posterior a ello se le asigna el valor numérico a cada familia según el índice BMWP y la suma final de estos clasifica dentro de la Tabla 3 en grado de contaminación que sufre dicho cuerpo de agua.

Como se mencionó el BMWP asigna valores a cada familia y es un valor de la tolerancia de los macroinvertebrados a la contaminación orgánica, teniendo que el valor mínimo de 1 se refiere a organismos muy tolerantes hasta el máximo de 10 que son organismos muy sensibles, por lo que la puntuación total del índice para una muestra se define como la suma del valor mínimo percibido de la tolerancia de todas las familias presente. Se considera que una puntuación BMWP más alta refleja una mejor calidad del agua (Tabla 4) (Hawkes, 1998).

Tabla 4: Rangos de calidad del agua según el índice BMWP.

Nivel de calidad	BMWP	Color correspondiente
Aguas de calidad excelente.	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas.	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.	>15	Rojo

Recuperado de Protocolo de muestreo de macroinvertebrados en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012). Versión 1.0. agosto 2014.

Para este trabajo se utilizó el índice BMWP con la modificación realizada por Pineda-López y col. (2014) misma que consiste en la eliminación de las familias categorizadas con el valor 10 así como el empleo de una tabla de rangos propuesta por (MINAE, 2007). Este protocolo ha sido empleado en trabajos de investigación en México entre ellos destacan el elaborado por Torres Olvera y col., (2018) que tuvo por objetivo validar la integridad biológica de dos cuencas subtropicales de México con base en macroinvertebrados y el trabajo de Durán Rodríguez, (2018) que tuvo como finalidad realizar un estudio completo para el manejo de moluscos acuáticos en el Río Jalpan, Querétaro, México.

1.4 INDICADORES BIOLÓGICOS

1.4.1 Bioindicadores

Los ecosistemas naturales son sistemas complejos los cuales están sometidos a distintos estresores naturales o artificiales (de la Lanza Espino, 2000a), con el paso del tiempo han sufrido muchas modificaciones graduales, principalmente en sus características físicas y biológicas. En consecuencia, estas alteraciones provocan la extinción de organismos que no logran adaptarse a los cambios que sufre su hábitat a causa de las actividades antropogénicas, como la fragmentación de hábitats, contaminación ambiental y sobreexplotación de los recursos, así como el cambio climático, factores que se han generado en un corto tiempo (González Zuarth y Vallarino, 2014).

Por tal motivo, se han buscado distintos métodos biológicos que sean precisos, de bajo costo y fácil manejo e interpretación, con la finalidad de evaluar los daños que sufre la biodiversidad, la salud humana y que implican un alto costo, así como un largo tiempo de restauración (González Zuarth y Vallarino, 2014). Por lo tanto, se ha implementado el uso de bioindicadores en los últimos años debido a sus ventajas como un método biológico de evaluación ambiental (de la Lanza Espino, 2000a).

Uno de los primeros estudios que utilizó indicadores biológicos para determinar la exposición y el grado de afectación del cadmio y el plomo en un humedal con relación a la tasa de crecimiento en la garza azul fue el de Spahn y Sherry (1999), donde describen que un bioindicador debe ser un organismo que puede acumular contaminantes en sus tejidos y estos pueden ser detectados antes que una muestra abiótica, o incluso, no pueden ser detectados. Además, describen las características de un bioindicador: a) ser un organismo con amplia distribución; b) tener una buena tasa de reproducción; c) bajo costo y poco tiempo a la hora de muestrear; d) fácil manipulación y monitoreo, por mencionar algunas.

Con el paso de los años el término bioindicador ha ido cambiando, pues de la Lanza-Espino (2000) lo describe como un organismo que permite cuantificar el grado de estrés, sensibilidad o tolerancia de distintos contaminantes, los aspectos del hábitat y el grado de exposición de estresor o el grado de respuesta ecológica a la exposición. Por otro lado, Heink y Kowarik (2010) consideran que una especie funge como bioindicadora cuando sus atributos como la sensibilidad a las perturbaciones ambientales, su distribución, su abundancia, dispersión, éxito reproductivo, etc.,

permiten evaluar el estado de otras especies o condiciones ambientales, debido a que el monitoreo generalizado de especies y condiciones medioambientales es costoso y difícil de muestrear directamente.

Asimismo, un bioindicador depende de la capacidad que tiene para responder (resiliencia) y adaptarse a las nuevas condiciones climáticas (plasticidad). Por tal motivo es que se ha optado por la sensibilidad que tienen algunas especies respecto a los estresores ambientales como indicadores del impacto negativo o positivo que estos pueden causar al medio ambiente (González Zuarth y Vallarino, 2014).

Además, los cambios fisiológicos y de comportamiento en consecuencia a estresores ambientales o variaciones en el ambiente se reflejan principalmente en el aspecto molecular y bioquímico del organismo, mismos que generan cambios estructurales y funcionales en los niveles más bajos de organización biológica como lo son el ADN y las proteínas, generando alteraciones en la síntesis de enzimas, daños en la estructura celular o en el material genético, por mencionar algunas (Romano, 1999).

No obstante, se requieren cumplir ciertas características para considerar a un organismo como bioindicador, entre estas destacan:

1. Tener baja tolerancia respecto a uno o más aspectos ambientales.
2. A través de sus respuestas biológicas debe ser posible identificar los daños del medio ambiente y los cambios naturales.
3. Ser lo suficientemente sensible para indicar alteraciones importantes al ambiente
4. Capaz de mostrar el peligro que corre la especie misma y el ecosistema.
5. La intensidad del cambio de la especie bioindicadora debe estar correlacionada con la intensidad del cambio ambiental.
6. Indicar directamente la causa del cambio, ejemplo alteraciones en la fecundidad y supervivencia con relación a cambios químicos en el entorno.
7. Ser ampliamente abundante con la finalidad de no afectar la estabilidad poblacional debido al muestreo.
8. Poseer una baja tasa de desplazamiento con el objeto de identificar fácilmente los disturbios.
9. Alta resistencia para poder manipularlos, transportarlos y estudiarlos en el laboratorio.

10. Poseer una amplia distribución con el objeto de realizar estudios de comparativa poblacional.
11. Ser de fácil identificación taxonómica para personas sin experiencia.
12. Los datos obtenidos a partir del bioindicador deben interpretarse fácilmente.
13. Debe ser de bajo costo y poco complejo su monitoreo.

(de la Lanza-Espino, 2000; González Zuarth y Vallarino, 2014; Holt y Miller, 2010; Li y col., 2010)

1.4.2 Bioindicadores de calidad de agua

Actualmente se ha estado trabajando en nuevas formas de conocer la calidad del agua, que además de permitir un conocimiento específico en el tiempo, permite tener un panorama amplio de los factores que han influenciado al sistema. (Zamora Muñoz y col., 1995). Una de estas formas es la utilización de diferentes organismos como indicadores, entre los que destacan los macroinvertebrados acuáticos y que han demostrado gran eficiencia la detección y mapeo de alteración en la calidad del agua (Abarca, 2007; Duran y Suicmez, 2007). También existen distintos organismos que pueden fungir como posibles indicadores como: plancton, macroinvertebrados, peces, aves, reptiles, incluso plantas acuáticas. No obstante, los macroinvertebrados son los más utilizados por su facilidad de colecta, manejo e identificación, aunado a que hay una gran cantidad de información ecológica.

1.4.2.1 Peces

Los peces son los vertebrados más abundantes en el planeta representando a más de la mitad de todos los vertebrados en el mundo, son organismos de ambientes acuáticos que respiran por medio de bránqueas, poseen escamas y opérculos, pueden vivir en todos casi todos los hábitats acuáticos del mundo y en su mayoría son especies migratorias, también poseen resistencia a distintos tipos de salinidad y algunos son únicamente dulceacuícolas. Su comportamiento es casi tan diverso como su morfología, poseen distintas formas de alimentación y pueden producir diferentes tipos de sustancias, algunas especies presentan dimorfismo sexual y su reproducción es ovípara (Espinosa Pérez, 2014).

Gracias a todas las características antes mencionadas los peces son ampliamente utilizados como bioindicadores ambientales ya que brindan información acerca de su ambiente y de los impactos en el mismo, como el estado trófico o de contaminación (García y col., 2017). El monitoreo de cuerpos de agua por medio de peces permite obtener datos con relación a estados anteriores del agua debido al largo tiempo de vida que presentan los peces. Aunado a esto, su tamaño y movilidad les permiten transportar sustancias a través de los ecosistemas acuáticos y fungir como bioacumuladores de contaminantes (Viteri-Garcés y col., 2017). El estado en que se encuentran los peces permite dislumbrar cualquier tipo de desequilibrio en las concentraciones de oxígeno, aumento o desenso de temperatura y concentración de contaminantes (Romano, 1999).

Adicionalmente, el tamaño de los peces y su facilidad de colecta permiten la posibilidad de procedimientos analíticos que relacionen la contaminación del ambiente con patologías en los organismos, con todo esto el uso de los peces como bioindicadores se ha empleado hasta el análisis de sustancias tóxicas, enfermedades y cambios antropogénicos en la calidad del agua que se ven reflejados en la supervivencia, potencial reproductivo, metabolismo y desarrollo de los peces (Angulo Collahuazudo, 2020; García y col., 2017)

Algunas familias bioindicadoras de cuerpos dulceacuícolas son: Aterinidos (charales) que indican una muy buena calidad de agua, Cíclidos (tilapias) y Carpas (ciprínidos) que reflejan condiciones pobres hidro-químicas debido a disturbios o descargas antropogénicas; entre otras (de la Lanza Espino y Hernández Pulido, 2014).

1.4.2.2 Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos son aquellos invertebrados de tamaño superior a los 500 μm entre los que se incluyen animales como sanguijuelas, insectos, crustáceos o moluscos, estos se distribuyen ampliamente en ríos y arroyos de todo el mundo y solo los entornos acuáticos más contaminados o de poca temporalidad suelen no contener alguno de estos (Hauer y Resh, 2017; Ladrera y col., 2013).

Estos organismos tienen hábitos sedentarios, por lo cual, representan las principales condiciones ecológicas del lugar y debido a su vida relativamente larga y sensible, permiten analizar de manera integral los cambios producidos en el medio ambiente a corto plazo (Li y col.,

2010). Los macroinvertebrados son componentes importantes de las redes tróficas acuáticas ya que cumplen funciones que vinculan el flujo de la materia orgánica y los nutrientes entre los diferentes niveles. Estos organismos forman parte de diferentes grupos tróficos entre los que se encuentran los colectores-recolectores, colectores-filtradores, trituradores, raspadores, predadores, etc., con lo cual juegan un papel fundamental en el reciclado de nutrientes de las fases finales de la cadena alimenticia los cuales son reintegrados a esta (Li y col., 2010; Nieto y col., 2016).

De acuerdo con Vázquez y col., (2006) y de la Lanza Espino y Hernández Pulido, (2014) los macroinvertebrados son considerados como uno de los mejores indicadores de calidad de agua debido a que cumplen con las siguientes características:

- Amplia distribución y fácil recolección
- La mayoría son sedentarios, por tanto, manifiesta las condiciones locales
- Relativamente son fáciles de identificar taxonómicamente
- Presentan los efectos de los disturbios ambientales en un periodo corto
- Generalmente poseen ciclos de vida largos
- Permite estudios comparativos entre poblaciones
- Realización de análisis espacial viable de los impactos ambientales
- Facilidad en muestreos cuantitativos y análisis de muestras en el empleo de equipos simples
- Algunos pueden ser cultivados en laboratorios
- Existen diversas metodologías para el análisis de datos (índices bióticos y de diversidad)

Gracias al conocimiento de las características taxonómicas y ecológicas de los macroinvertebrados han sido ampliamente utilizados como bioindicadores (Ladrera y col., 2013; Roldán Pérez, 2016). A continuación se describen algunos grupos de macroinvertebrados.

1.4.2.2.1 Annelida

Los anélidos son gusanos anillados, este phylum comprende más de 22 000 mil especies descritas hasta el 2013 y son la macrofauna bentónica más predominante en los cuerpos de agua, su tamaño suele variar desde los microscópicos hasta los tres metros. Tradicionalmente los anélidos se subclasifican en dos grupos: Poliquetos y Clitelados, este último incluye las clases Oligoqueta e

Hirudínea, organismos que son tanto terrestres como dulceacuícolas de manera distinta a los poliquetos que son únicamente marinos (Nosrati y col., 2013; Struck y col., 2011).

Los oligoquetos son a menudo el grupo más diverso y abundante entre los organismos bentónicos dulces acuícolas, poseen una importante participación en el flujo de energía y materia y se encuentran en casi todos los ambientes acuáticos frescos, viviendo en asociación con otros organismos (Gárgano y col., 2020; Gorni y col., 2018). Los oligoquetos son ampliamente utilizados en estudios de biodiversidad, contaminación, evaluación medio ambiental, y gracias a su amplia distribución y fácil manejo se usan como bioindicadores de la calidad del agua (Abubakr y col., 2018).

La utilización de los oligoquetos como bioindicadores se destaca por su capacidad de alimentarse de la materia orgánica presente en los sustratos y son capaces de aumentar en número cuando la materia orgánica incrementa. También, su riqueza y abundancia está estrechamente relacionada con variables ambientales como el oxígeno disuelto, la temperatura del agua y el tipo de sustrato, principalmente se han utilizado en estudios de eutrofización de cuerpos de agua (Abubakr y col., 2018; Gárgano y col., 2020; Gorni y col., 2018)

Por su parte los poliquetos que se distinguen del resto de anélidos por tener una cabeza bien diferenciada y llena de órganos de sensoriales especializados, se consideran la clase más diversa entre los anélidos y se distribuyen en las profundidades del fondo marino, al igual que los oligoquetos, su crecimiento en número se ve relacionado con la cantidad de materia orgánica disponible. Gracias a que filtran grandes volúmenes de agua pueden estar expuestos a diversas sustancias tóxicas como contaminantes y gracias a su ciclo de vida corto, su sensibilidad para presentar cambios en su reproducción, crecimiento y mortandad ante cambios ambientales, los hacen un excelente bioindicador de cuerpos de agua y sedimentos (Elías y col., 2021; Rijel Cobb, 2018).

Estos organismos son importantes bioindicadores de materia orgánica, hidrocarburos, níquel, vanadio, metales pesados en general y ácido sulfhídrico, así como de las condiciones de hipoxia, anoxia y niveles altos o bajos de pH del agua, debido a su elevada respuesta sobre las alteraciones en su medio ambiente. Un ejemplo es la especie *Capitella capitata* que es una colonizadora rápida y oportunista en sitios que presentan altas concentraciones de materia orgánica (de la Lanza Espino y Hernández Pulido, 2014).

Los hirudíneos representados generalmente por las sanguijuelas contiene doce familias de especies hasta la fecha. Las sanguijuelas por su parte son organismos hematófagos que habitan es zonas terrestres y dulce acuícolas principalmente, aunque también pueden habitar en el mar. Estos organismos son primordialmente parásitos y en su mayoría no suelen causar daños excesivos en sus hospederos no obstante existen excepciones ya que distintas especies de sanguijuelas pueden funcionar como vectores de patógenos (Moraga y Muñoz, 2010).

Las sanguijuelas al igual que el resto de los anélidos son utilizadas como bioindicadores de la calidad del agua debido a que habitan cuerpos de agua eutrofizados, polisaprobios (cuerpos de agua con gran contenido de materia orgánica) y contaminados (Cortelezzi y col., 2018). En años recientes se han utilizado para estudios del impacto que tiene la actividad antropogénica en los cuerpos de agua y su rol en la eliminación de sustancias tóxicas. Uno de los géneros de sanguijuelas más utilizado en los estudios de calidad de agua y ecotoxicología es *Helobdella* (Assef y col., 2014; Miserendino y col., 2020; Tello y col., 2007).

1.4.2.2.2 Mollusca

Los moluscos son el segundo phylum metazoo más grande y uno de los más diversos morfológicamente hablando, se encuentran justo después de los artrópodos en número de especies. Existen ocho clases de moluscos, pero el 80% de todas las especies corresponden a los gastrópodos y el 15% a los bivalvos. Los moluscos poseen un cuerpo que comprende tres regiones observables: una cabeza, un pie muscular y una masa visceral; misma que está compuesta por una capa gruesa de epidermis llamada manto, este manto suele ser duro y está formado por calcio (Castillo Rodríguez, 2014; Cuezco y col., 2020; Oehlmann y Schulte Oehlmann, 2003).

De acuerdo con su estilo de vida los moluscos pueden actuar como bioindicadores, principalmente los que son sésiles, debido a que son receptivos a los contaminantes del agua y sedimento. Estos moluscos generalmente tienen un ciclo de vida largo, representan un alto grado biótico y distintos niveles de tolerancia con los contaminantes (de la Lanza Espino y Hernández Pulido, 2014). Se sabe que algunas especies de moluscos pueden desplazarse e incluso pueden cerrarse ermeticamente en su valva por horas cuando el agua o sedimentos presentan cierto grado o tipo de contaminantes y regresan a su sitio y estado anterior cuando estos desaparecen (Baqueiro-Cárdenas y col., 2007; de la Lanza Espino y Hernández Pulido, 2014).

Tanto los gasterópodos como los bivalvos son organismos que abundan en la mayoría de los ambientes acuáticos y existen algunos que incluso son especies cosmopolitas. Estos organismos son tan importantes en la cadena trófica que un impacto negativo sobre ellos puede dañar a un ecosistema entero, como ya se mencionó la capacidad de estas clases para ser bioindicadores radica en que su etapa adulta suele estar acompañada de una morbilidad extrema por lo tanto, su alimentación se basa principalmente de la materia orgánica de los sedimentos por lo cual suelen estar expuestos a distintos contaminantes que pueden causar alteraciones negativas en su diversidad y reproducción (Oehlmann y Schulte Oehlmann, 2003; Syahrial y col., 2021).

De manera general los gasterópodos suelen ser utilizados como bioindicadores del daño antropogénico para el análisis e identificación de metales pesados, hidrocarburos y otros contaminantes. En la mayoría de estos organismos existe una marcada relación entre la acumulación de contaminantes en su tejido corporal y los niveles ambientales de dichos contaminantes, además de que inducen un daño al ADN de los organismos y variaciones en su frecuencia cardíaca con lo cual se pueden detectar bio marcadores celulares y proteicos que indiquen la presencia de cambios en la calidad del agua y sustratos (Reguera y col., 2018; Syahrial y col., 2021). Su impacto como bioindicador es tan importante que estudios como el de Arizala Guachamin y col., (2017) utilizan la biodiversidad de gasterópodos como un indicador de calidad en cuerpos de agua.

Por su parte los bivalvos, utilizados también como bioindicadores, suelen ser uno de los organismos preferidos para monitorear la presencia de contaminantes en el agua producto de las actividades humanas, gracias a su amplia distribución y a su estructura de sus comunidades, ya que algunos pueden propagarse en ambientes contaminados como lo es la almeja asiática *Corbicula fluminea*. Estos moluscos suelen ser tolerantes a distintos tipos y concentraciones de metales pesados como el cobre, zinc o la plata, pero son sensibles a otros tipos de contaminantes y se desplazan de esas zonas. Su exposición a los contaminantes se debe altamente a su tipo de alimentación que se basa principalmente en sustratos (Baqueiro-Cárdenas y col., 2007; Chancay García y Ureta Espinoza, 2018; Peñuela Jiménez y col., 2016).

De acuerdo con (de la Lanza Espino y Hernández Pulido, 2014) algunas de los moluscos empleados en estudios de monitoreo ambiental son:

- La familia Physidae, estos son caracoles de cuerpos de agua que se alimentan de la materia orgánica en descomposición y por tal motivo se expanden durante los vertimientos de contaminantes. Ya que, estos organismos no se ven comúnmente afectados por la falta de oxígeno en aguas contaminadas debido a que poseen un solo pulmón.
- La familia Ampullaridae la cual es tolerante a los contaminantes y a ambientes contaminados.
- La especie *Planorbella tenue*, que habita en aguas limpias
- Las especies *Physella mexicana* y *Lymnaea attenuata*, que habitan generalmente en aguas contaminadas.
- La especie *Crassostrea virginica*, debido a que acumulan metales pesados (Ag, Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Na, Ni, Pb y Zn), pesticidas (DDT y dieldrin), HC (hidrocarburos o productos procedentes del petróleo), bifenilos policlorados (BPC) y coliformes.

Adicionalmente se sabe que la ausencia de las especies *Planorbella tenue*, *Physella mexicana* y *Lymnaea attenuata* representa una calidad del agua y sedimentos extremadamente contaminada (de la Lanza Espino y Hernández Pulido, 2014). Estas no son las únicas especies que se utilizan como bioindicadoras ya que al ser un grupo megadiverso estas suelen cambiar entre regiones y cuerpos de agua.

1.4.2.2.3 Arthropoda

El Phylum artrópoda es uno de los más antiguos y bastos, son el grupo de invertebrados con más especies en el mundo. Entre sus principales características está el hecho de que poseen una cubierta exterior conformada de quitina llamada exoesqueleto, mismo que está compuesto por segmentos unidos entre sí por membranas y tiene varios pares de apéndices articulados, son bilateralmente simétricos y triploblásticos, además de presentar dimorfismo sexual. Este gran Phylum se clasifica en cuatro clases principales: Crustácea, Miriápoda, Insecta y Arácnida (Martínez de la Vega, 2019; Rathod, 2018; Ribera y Foster, 1997; Thorp y Rogers, 2015)

Gracias a que los integrantes de este Phylum, megadiverso, son de fácil manejo, colecta, están estrechamente relacionadas con su ambiente y forman parte importante de las cadenas

tróficas, son utilizados como bioindicadores de la calidad de agua (excepto Miriápoda) (Ribera y Foster, 1997), en un sentido más amplio los integrantes de la clase Crustácea, Insecta y Arácnida son los más empleados en la literatura actualmente como bioindicadores ambientales, no obstante, esto no debe reducir la importancia y eficacia que pueden llegar a tener la clase Miriápoda en la calidad del suelo (Beltrán García, 2018; Daleya, 2019).

Los crustáceos son organismos que habitan mayoritariamente en ambientes marinos y suelen tener pocos representantes dulce acuícolas, entre estos se tienen a los cangrejos, langostas, langostinos y camarones, como los más característicos; morfológicamente tienen cinco patas situadas en la región torácica que le sirven para caminar, así como un par de ojos compuestos (Martínez de la Vega, 2019; Rathod, 2018) .

Su uso como bioindicadores radica en su capacidad para representar los cambios ecológicos que sufre su ambiente en periodos de tiempos cortos, principalmente en el análisis del estado trófico de los cuerpos de agua. Algunas especies pueden estar ampliamente distribuidas e incluso ser cosmopolitas. Un punto importante que hace a estos organismos un buen indicador biológico es que su exposición a contaminantes causa desequilibrios en sus comunidades y se sugiere que pueden alterar su tasa reproductiva. Por dar un ejemplo, la exposición de estos organismos a los plaguicidas produce problemas en el equilibrio oxidante/antioxidante en sus diferentes órganos y esto aumenta el daño provocado, modificando los parámetros enzimáticos a nivel celular los cuales pueden ser utilizados como un bioindicador (García-Amilibia y col., 2017; Lorente Camila, 2015).

Los arácnidos son organismos bien reconocidos por sus cuatro pares de patas en los que se incluyen a las arañas, los escorpiones, los ácaros, las garrapatas, etc., (Martínez de la Vega, 2019) como el resto de los artrópodos estos organismos son sensibles a las perturbaciones ambientales, particularmente a las de origen antropogénico y presentan respuestas rápidas a estos cambios y, sumado a su corta vida, tamaño pequeño, altas tasas reproductivas y abundancia de especies funcionan como un buen biomonitor de la calidad ambiental a través del tiempo y el espacio (Castiglioni y col., 2017). Su uso principal está en el análisis de los efectos que tienen los disturbios ambientales en sus conjuntos poblacionales y su biodiversidad (Lisboa Barrientos, 2016).

Uno de los arácnidos más estudiados en materia de calidad del agua son los ácaros de agua mismos que han demostrado correlaciones negativas en sus poblaciones respecto al nitrógeno inorgánico, pero relaciones positivas al calcio, también se ha demostrado que su diversidad

abundancia y estructura comunitaria se ven afectadas por la contaminación, temperatura, oxígeno y concentraciones de carbonato (Goldschmidt, 2016), situación similar a la que presenta otros tipos de arácnidos que no logran adaptarse a ambientes con presencia de contaminantes (Lisboa Barrientos, 2016)

Por su parte los insectos son el grupo de especies más diversos en el mundo, no existiendo un hábitat en el que no se encuentre alguno de estos y está representado por organismos cuyo cuerpo se encuentra dividido en tres tagmas: abdomen, tórax y cabeza; esta última con un par de antenas, su tórax presenta tres pares de patas y puede o no tener dos pares de alas. La mayoría son terrestres, pero dependen ampliamente del agua para el correcto funcionamiento fisiológico en todo su cuerpo (de la Lanza Espino y Hernández Pulido, 2014; Martínez de la Vega, 2019; Merrick y Filingeri, 2019).

La dependencia de los insectos al agua radica en que el correcto equilibrio hídrico permite la metabolización de los alimentos, el mantenimiento de las correctas funciones celulares, la excreción de materiales de desecho, así como la permeabilidad de la cutícula en diversos entornos, entre otros, sin esto la muerte se puede dar incluso en horas (Merrick y Filingeri, 2019), además, de que algunas especies parte de su ciclo de vida (estadios inmaduros) es en el agua, como por ejemplo la deposición de sus huevos (Tenjo Morales y Cárdenas Castro, 2015).

Su uso como indicadores de la calidad del agua radica en varios aspectos como: su estilo de vida sésil durante su etapa larval en cuerpos de agua, diversos tipos de alimentación (carnívoros, herbívoros, detritívoros, filtradores, recolectores y desmenuzadores), alta sensibilidad a los contaminantes, disturbios en la estructura de su comunidad, bioacumulación de sustancias tóxicas en diferentes periodos y concentraciones de exposición, facilidad de comparación estadística entre comunidades, fácil recolección, manejo y monitoreo, así como factibilidad para la evaluación de los disturbios en cuerpos de agua (de la Lanza Espino y Hernández Pulido, 2014; Tenjo Morales y Cárdenas Castro, 2015).

En este grupo megadiverso existen ordenes con hábitos acuáticos de relevancia al analizar cuerpos de agua como lo son: Ephemeroptera (libélulas y caballitos del diablo), Odonata (libélulas y caballitos del diablo), Orthoptera (grillos, langostas, saltamontes), Plecoptera (mosca de la roca), Hemiptera (chinchas de agua), Megaloptera (patudos), Coleoptera (escarabajos), Trichoptera (frigáneas), Diptera (moscas, moscos, zancudos) e (de la Lanza Espino y Hernández Pulido, 2014).

1.4.2.3 Aves acuáticas

Las aves son un taxón con gran potencial como bioindicador de los cambios ambientales, en materia de cuerpos de agua las aves han demostrado una estrecha relación entre la calidad del agua y distintos factores relacionados a sus comunidades o funcionamiento fisiológico. Ya que son relativamente fáciles de detectar e identificar y los métodos de descenso suelen ser baratos y estar bien desarrollados. Además, de que pueden representar el daño de un cuerpo de agua en diferentes escalas, esto gracias a que forman parte de la cadena trófica en diferentes posiciones, siendo predados y depredadores (Estrada Guerrero y Soler Tovar, 2014; Fraixedas y col., 2020).

La conexión que existe entre las aves y el ambiente suele ser recíproca y un cambio en el ecosistema provoca un desequilibrio entre las aves y el resto de fauna (Estrada Guerrero y Soler Tovar, 2014) principalmente en la diversidad y abundancia de aves acuáticas y de su principal alimento los peces (Green y Figuerola, 2003). A pesar de que existen estudios relacionados al análisis de biodiversidad teniendo a las aves como bioindicador, su principal uso está en el análisis de los metales pesados como el plomo o el cobre y su impacto en los cuerpos de agua y en las aves. Los estudios van desde el análisis del hígado o riñones de aves expuestas hasta el análisis de sus plumas (Estrada Guerrero y Soler Tovar, 2014; González y col., 2018; Green y Figuerola, 2003).

Entre los metales pesados más comunes y sus afectaciones en las aves tenemos:

- Cadmio: causa retraso en el crecimiento, descenso de la producción y adelgazamiento de la cáscara del huevo, así como cambios en el comportamiento.
- Plomo: causa inmunodepresión, afecta el sistema nervioso, debilidad muscular, ceguera, convulsiones; disminuye la producción y aumenta la fragilidad de los eritrocitos facilitando su destrucción, entre otros.
- Mercurio: puede causar ataxia (falta de coordinación en movimientos voluntarios), debilidad en las extremidades, incapacidad de volar o caminar, parpados caídos, baja actividad física e hiporreactividad, incluso pueden generar huevos sin cáscara.

(Estrada Guerrero y Soler Tovar, 2014)

Por otro lado, las aves funcionan como indicadores a diferentes escalas, es decir, escalas mayores (nacional o regional), concerniendo con distintas poblaciones biogeográficas de aves migratorias, en las cuales se observa declives de algunas poblaciones en consecuencia de la pérdida

de hábitat. En las escalas inferiores, las características físicas del medio en donde habitan influyen mucho sobre su diversidad y abundancia (Green y Figuerola, 2003). Entre las familias de aves utilizadas como bioindicadores de humedales y costas marinas se tienen a las Haematopodidae, Charadriidae y Scolopacidae, como unas de las más representativas (Podestá y col., 2017).

1.4.2.4 Anfibios y reptiles

Los anfibios y los reptiles son animales vertebrados que en alguna etapa de su vida dependen del agua, estos pueden adaptarse tanto a la vida terrestre como acuática. Pertenecen a la cadena trófica como depredadores de otras especies, ambos son ovíparos y suelen alimentarse principalmente de plantas, otros anfibios, insectos y otros artrópodos pequeños (Editorial Grudemi, 2019a, 2019b). Se distribuyen ampliamente en la mayoría de los ecosistemas y son sensibles a cambios en su entorno (Martínez Grimaldo y col., 2018).

Los reptiles se utilizan como indicadores biológicos ya que juegan un papel de consumidores secundarios en las cadenas tróficas y puede acumular en su organismo contaminantes y otras sustancias xenobióticas provenientes de sus presas, así como su limitada movilidad y amplia distribución (Suárez González, 2017). Su utilización más común es en la detección de metales pesados, oligoelementos y otras sustancias provenientes de sedimentos de cuerpos de agua y terrestres. Un ejemplo de estos, pueden ser las serpientes acuáticas como *Helicops pastezae* y *Notechis scutatus occidentalis* utilizadas para el análisis de la calidad ambiental por la bioacumulación de contaminantes en diferentes partes de su cuerpo (Hurtado Morales, 2019; Lettoof y col., 2020)

Por su parte los anfibios son considerados uno de los mejores indicadores de la calidad en cuerpos de agua, gracias a que tienen una etapa de vida acuática y una terrestre, y en algunas especies esta última se encuentra estrechamente relacionada con el recurso hídrico (Editorial Grudemi, 2019a; Suárez González, 2017). Poseen una piel delgada y permeable, así como unos huevos que son sensibles a los cambios de la composición del agua y humedad circundante. En estados de contaminación, las ranas adultas y sus estadios larvarios suelen acumular en sus tejidos diversos tipos de contaminantes, producto de los cambios ambientales de la actividad antropogénica, entre ellos el cambio de pH, pesticidas, gases, metales pesados, entre otros y esto puede suceder de manera directa o indirecta a través de su fisiología o su dieta, respectivamente

(DeGarady y Halbrook, 2006; Gambellini, 2021; Henao Muñoz y Bernal Bautista, 2011; Suárez González, 2017).

1.4.2.5 Vegetación acuática

Las plantas acuáticas también llamadas macrófitas acuáticas o hidrófitas son un conjunto de organismos vegetales de amplia distribución y algunas son incluso cosmopolitas, aunque existen ejemplares que solo prosperan en regiones determinadas del mundo (Lot, 2012; Rzedowski, 2006). En México existen aproximadamente 262 géneros de macrófitas acuáticas que incluyen helechos, gimnospermas y angiospermas. A nivel mundial los helechos y gimnospermas en México representan el 13.9% a nivel mundial, caso similar al 17.3% y 14.3% de las angiospermas marinas y de manglares respectivamente (Gutiérrez Báez, 2006).

En los cuerpos de agua las macrófitas desempeñan un papel importante en la retención y disminución de los sedimentos, en la retención de nutrientes, generación de refugio y comida para depredadores, liberación de oxígeno, producción de biomasa, control de la erosión hídrica y mejora física y nutricional del suelo (Canhizares dos Santos y de Oliveira Boina, 2017; Tagliaferro, 2020). El uso de las plantas acuáticas como bioindicadores se sustenta en la tolerancia limitada de estas a los cambios ambientales, ya que se desarrollan en condiciones indispensables para cada especie, entre los que se encuentran un correcto intervalo de temperatura, buena calidad lumínica, un buen pH, condiciones específicas de salinidad y de concentraciones de oxígeno, etc. (Rzedowski, 2006).

Gracias a que las macrófitas acuáticas logran integrar características físicas, químicas y biológicas de un cuerpo de agua en el espacio-tiempo y a su abundancia y gran distribución, son un buen indicador de las condiciones medioambientales de los ecosistemas acuáticos (Tagliaferro, 2020). De manera general, estas plantas acuáticas se han utilizado en estudios de eutrofización (Fernández y col., 2018; Standen y col., 2018) y contaminación por metales pesados y otros contaminantes provenientes de las actividades antropogénicas (Galaviz y col., 2020) y, además, han llegado a ser utilizadas como procesos de tratamiento para plantas de aguas residuales (fitorremediación) (Mendoza y col., 2018).

1.5. LEGISLACIÓN

1.5.1 Legislación y normativa en materia del agua nacional

La legislación nacional en materia del agua es compleja, dispersa y cuantiosa. Se puede decir que es compleja debido a que el tema del agua al ser forzosamente transectorial ha provocado que disposiciones relativas a su regulación se encuentren dispersas en un gran número de documentos legales, por lo que, dificulta la óptima regulación del recurso al obstaculizar el adecuado cumplimiento y la aplicación de la efectividad de la normatividad (ATL, 2009).

1.5.1.1 Ley de Aguas Nacionales (LAN)

Es una ley reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales (ATL, 2009). Fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de diciembre de 1992 y su última reforma fue el 06 de enero de 2020. Tiene como objetivo regular el uso, aprovechamiento o explotación del agua, así como su distribución, control y la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. Establece a la Comisión Nacional del Agua (CNA) como la autoridad administrativa en materia de aguas nacionales, tiene como objetivo ejecutar las facultades que le corresponden a la autoridad en materia de agua y constituirse como el Órgano Superior con carácter técnico, normativo y consultivo de la Federación, en materia de gestión formado de los recursos hídricos, regulación, control y protección del dominio público hídrico (Ley de Aguas Nacionales, 1992).

Esta ley determina que el agua “es un bien de dominio público federal, vital y finito, con valor social, económico y ambiental, cuya preservación en cantidad y calidad y sustentabilidad es tarea fundamental del Estado y la Sociedad, así como prioridad y asunto de seguridad nacional”. Por otro lado, puntualiza que la gestión de los recursos hídricos debe de llevarse a cabo de manera descentralizada e integrada privilegiando la acción directa y las decisiones por parte de los actores locales y por cuenca hidrológica, y especifica que los servicios ambientales que proporcionan agua deben cuantificarse y pagarse (Ley de Aguas Nacionales, 1992).

La Ley de Aguas Nacionales en el ámbito de las cuencas y regiones hidrológicas e hidrológico-administrativas, creó los Organismos de Cuenca y los Consejos de Cuenca (ATL, 2009). Los primeros son unidades técnicas, administrativas y jurídicas especializadas, de manera

autónoma que esta ley les otorga, cuyas atribuciones, naturaleza y ámbito territorial de competencia son establecidos en la LAN y sus reglamentos. Con base a sus disposiciones de esta Ley, la Comisión ordenará sus actividades y adecuará su integración, organización y funcionamiento al establecimiento de los Organismos de Cuenca, los cuales, funcionaran conforme a los Consejos de Cuenca (Ley de Aguas Nacionales, 1992).

Los Consejos de Cuenca son “órganos colegiados de integración mixta, que sirven de coordinación, concentración, apoyo, consulta y asesoría para formular y orientar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca, y demás establecidos en el capítulo IV de la LAN y sus reglamentos (Ley de Aguas Nacionales, 1992).

1.5.1.2 Normativa en materia de agua

Existen diversas normas oficiales relacionadas en materia del agua, ya sea ecológicas y del sector agua, incluyendo límites máximos permisibles en descargas, aguas residuales, su aprovechamiento y disposición final, preservación de manglares, determinación de la disponibilidad media anual de aguas nacionales, especificaciones para infraestructura, equipos y pruebas; asimismo, como de la Secretaría de Salud, puntualizando los características del agua para consumo humano, su transporte, muestreo, vigilancia y control (CONAGUA, 2018a). Actualmente, en México existen 163 normas relacionadas en el sector agua (CONAGUA, 2018b).

Una Norma Oficial Mexicana (NOM) es una regulación técnica de carácter obligatorio, regulan los productos, procesos o servicios, cuando puedan generar un riesgo para las personas, animales y vegetales. Dentro de las NOM se encuentra información, requisitos, procedimientos especificaciones y métodos necesarios, los cuales son establecidos a los distintos establecimientos gubernamentales con la finalidad de evitar un impacto negativo a la población y al equilibrio ecológico (de Anda Valades, 2017).

Las Normas Mexicanas (NMX) establecen requisitos mínimos de calidad de productos y servicios, con el objeto de dirigir a los consumidores, no obstante, su aplicación, es voluntaria, con algunas excepciones en los que los particulares manifiesten que sus productos, procesos o servicios están basados de acuerdo con estas NMX (de Anda Valades, 2017).

Para la calidad de agua, protección del humedal y protección de las especies, en este proyecto se consideraron como base las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-022-SEMARNAT- 2003 y NOM-059-SEMARNAT-2010, estas tienen diferentes objetivos y propósitos, mismos que darán el cimiento legal a este trabajo (Tabla 5).

Tabla 5: Normas Oficiales Mexicanas que se consideraron para el proyecto.

Norma	Objetivo y aplicación al proyecto
<p>NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.</p>	<p>Su objetivo es proteger la calidad del agua y bienes nacionales, el cual es obligatorio para los responsables de las descargas de aguas residuales.</p> <p>Por lo tanto, el agua que llega al humedal deberá presentar los parámetros establecidos en esta norma debido a que es un bien nacional. Se ha observado que existen diversas fuentes de descarga de aguas residuales que no están cumpliendo con los criterios de esta normativa.</p>
<p>NOM-022-SEMARNAT-2003. Establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.</p>	<p>Esta norma tiene como principio establecer los criterios que regulen el aprovechamiento sustentable en humedales costeros con la finalidad de prevenir su deterioro, a su vez, se fomenta la conservación y la restauración.</p> <p>A pesar de que esta norma aplica a humedales costeros se considera importante en este proyecto debido a que en el punto 4.37 hace mención a que se debe favorecer y propiciar la regeneración natural de la unidad hidrológica, asociación vegetal y animal a través del restablecimiento de la dinámica hidrológica y flujos hídricos continentales, es decir, ríos de superficie y subterráneos, arroyos temporales y permanentes, escurrimientos terrestres laminares y aportes del manto freático; la erradicación de vertimientos de aguas residuales y sin tratamiento, protegiendo las zonas que muestren algún potencial para ello.</p>
<p>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</p>	<p>Tiene como finalidad identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres que estén en riesgo dentro de la República Mexicana, a través de listados. Asimismo, determina los criterios de exclusión o cambio de categoría de riesgo para especies o poblaciones mediante la evaluación de su riesgo.</p> <p>En El Charco del Ingenio se cuenta con 535 especies florísticas, 51 de líquenes, 156 especies de aves residentes y migratorias, 32 de mamíferos, 18 de reptiles y anfibios, 110 especies de mariposas y 11 de libélulas (El Charco del Ingenio, 2020). En el caso de este humedal se ha observado que funge como refugio de diversas aves acuáticas ya sean residentes o migratorias, además es un componente esencial en la ruta de las aves migratorias, de las cuales varias de ellas se encuentran en el listado de esta normativa con alguna categoría de riesgo.</p>

1.5.1.3 Sitios Ramsar

Los sitios Ramsar son humedales a los que se les ha dado un reconocimiento de importancia internacional de acuerdo con los criterios establecidos por la “Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas” (Convención Ramsar), que se celebró el 2 de febrero de 1971 en Irán (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010).

Para designar un humedal como importante internacionalmente existen dos grupos de criterios según la Convención Ramsar: El primero de estos, llamado grupo A comprende humedales representativos, raros o únicos, para ser considerado un humedal de este tipo debe contener un ejemplo representativo, raro o único de un tipo de humedal natural o casi natural hallado dentro de una región apropiada (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010).

El segundo grupo de criterios denominado grupo B se enfoca en sitios para conservar la biodiversidad biológica que posean una importancia internacional, los criterios en este grupo se basan en cuatro puntos el primero de ellos en especies y comunidades ecológicas; el segundo en aguas acuáticas; el tercero en peces y el último en otros taxones. El primero de estos criterios sostiene que el humedal será considerado de importancia si sustenta especies vulnerables, en peligro o comunidades ecológicas amenazadas, así como si sustenta poblaciones de especie vegetal o animal que sean de gran importancia para la biodiversidad de una región biogeográfica específica, también si a estas especies les ofrece refugio en una etapa crítica de su sitio biológico. El segundo de los criterios sostiene que deberá de ser considerado de importancia internacional los humedales que alberguen una población de 20 mil o más aves acuáticas, así como si sustenta regularmente el uno por ciento de los individuos de una población de una especie o subespecie de agua acuática (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010).

De la misma manera, el criterio tres establece que el humedal será de importancia si alberga una proporción significativa de especies, subespecies o familias de peces autóctonos, etapas del ciclo biológico, interacciones de especies y/o poblaciones que sean representativas de los beneficios y valores de los humedales contribuyendo a la biodiversidad biológica del mundo, además de representar una zona importante de alimentación para peces, área de desarrollo y/o ruta migratoria de la que dependan la existencia de estos peces (dentro o fuera del humedal). El último

de estos criterios soporta que el humedal será de importancia si alberga habitualmente el uno por ciento de los individuos de una población de una especie o subespecie dependiente del humedal, debe de ser una especie animal no aviaria (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010).

Existe una ficha informativa la cual tiene como finalidad proporcionar datos esenciales sobre todos los Humedales de Importancia Internacional, con el propósito de realizar un análisis sobre los humedales de RAMSAR a nivel mundial, además de brindar datos de referencia para medir los cambios que se producen en las características ecológicas, y facilitar material para las publicaciones destinadas a informar al público sobre los sitios ramsar (CUVALLES, 2009).

1.6. JARDÍN BOTÁNICO “EL CHARCO DEL INGENIO”

1.6.1 Descripción del área

Se trabaja en el complejo hidrológico que comprende la presa “Las Colonias”, esta se localiza dentro del Área Natural Protegida “El Charco del Ingenio”. El Jardín Botánico “El Charco del Ingenio” es una de Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC) ubicada en el municipio de San Miguel Allende, Guanajuato (Morales Ríos, 2018).

Como ya se mencionó, la Presa de Las Colonias se encuentra dentro de “El Charco del Ingenio”, ubicada al centro-oriente de la reserva, la presa es un humedal artificial de poca profundidad con una serie de islas artificiales cubiertas de vegetación, que sirven como refugio de especies de aves acuáticas. Este microhábitat solía ser más profundo y mantenía una gran variedad de peces y otros organismos acuáticos; sin embargo, hace aproximadamente 5 años comenzó completamente su evaporización en la temporada de sequía, causando la pérdida de muchos organismos (Orozco y col., 2013) . Este humedal es candidato a ser un sitio Ramsar debido a que cumple con los criterios basados en especies y comunidades ecológicas, así como con lo estipulado en el párrafo 1, artículo 1 de la convención y con la designación de sitios Ramsar temporales en los criterios del 1 al 4 del marco estratégico, debido a que alberga especies endémicas, en peligro y aves migratorias dependientes del humedal (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010).

El humedal cuenta con un río que es la principal fuente de agua, éste ha sufrido contaminación desde antes de la fundación de la reserva, por tanto, es de vital importancia evaluar

la calidad del recurso hídrico, ya que es fundamental para el ecosistema que allí habita. La calidad del agua se define como la capacidad intrínseca que posee esta para responder a los usos que se podrían obtener de ella influenciando de manera directa la salud de los ecosistemas y del ser humano, siendo un referente indispensable para la biodiversidad (Fibras y Normas de Colombia, 2018).

1.6.2. Ubicación y coordenadas

El Charco del Ingenio se localiza en el estado de Guanajuato, en la zona oriente del Municipio San Miguel de Allende, éste se encuentra entre las coordenadas geográficas 20° 43' y 21° 07' Norte y 100° 28' y 101° 05' Oeste. Asimismo, presenta una extensión territorial de 1558.139 km². Por lo que, El Charco del Ingenio se encuentra entre las coordenadas 20° 51' Norte y 100° 49' Oeste (Figura 2) (Salas Rodríguez, 2020).

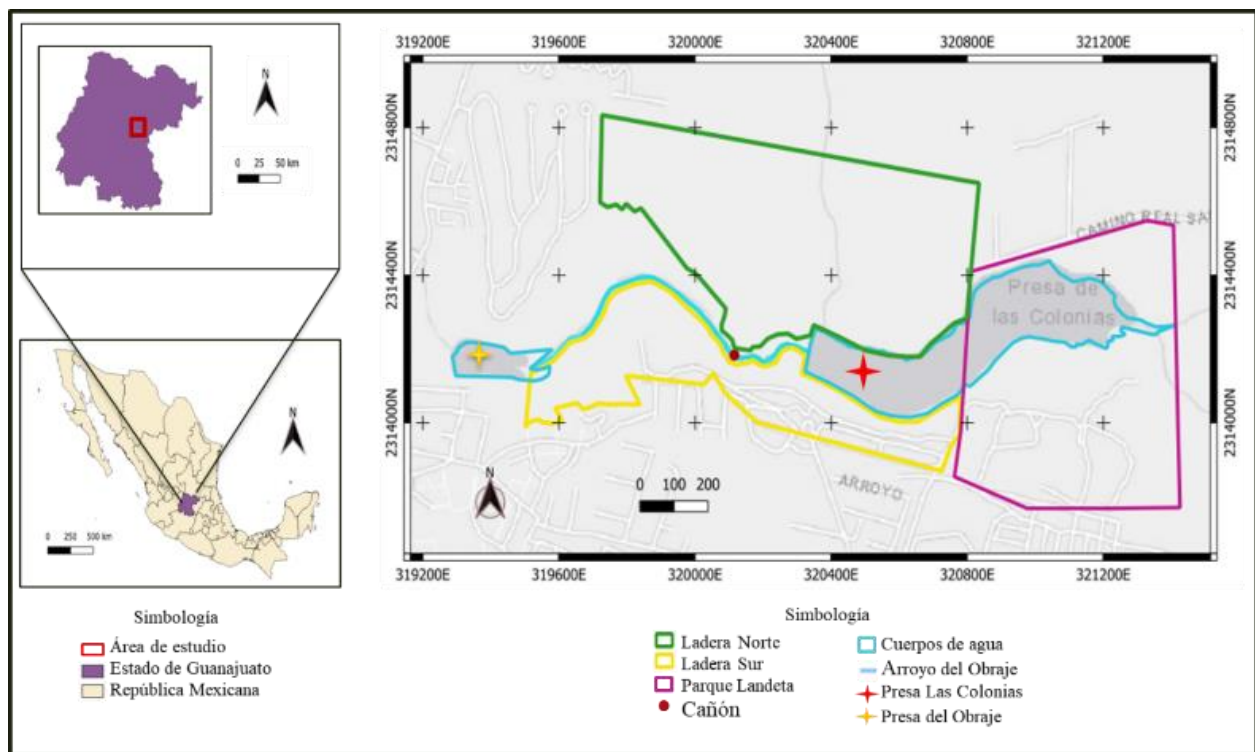


Figura 2: Delimitación del humedal y de la localización del Jardín Botánico El Charco del Ingenio en el estado de Guanajuato, México.

1.6.3. Factores abióticos

- **Clima:** Es seco (BSh de la clasificación de Koeppen) con veranos moderadamente calurosos y húmedos, e inviernos relativamente frescos y secos. En la estación climatológica la pauta diurna rige por largos periodos. De octubre a mayo hay poca o nula precipitación, por lo tanto, esta tiene un promedio anual es de 619 mm siendo julio el mes más lluvioso (Meagher, 2007).
- **Geomorfología:** La fisiografía consiste en un estrecho valle del Río Laja y una formación volcánica antigua con una elevación hasta 750 m por encima de la altitud de El Charco conocida como Los Picachos. Dentro del área natural se encuentra una cañada con una profundidad máxima de 50 m y poco menos de 1 km de largo, siendo más ancha en la parte superior. En ambos lados de la presa y la cañada de El Charco del Ingenio se extiende un reborde de mesas riolíticas con poca elevación (Meagher, 2007).
- **Geología:** El lugar está constituido por roca dura de origen volcánico, principalmente ignimbrita riolítica. Al sur y al este de la presa, la ignimbrita está cubierta por brecha volcánica. A pesar de que la mayor parte de las rocas del Charco del Ingenio son de origen ígneo, se encuentra una estrecha zona cerca del borde de la cañada, en el lado sur, la cual la actividad hiodrotérmica ha cambiado el contacto entre la entre la ignimbrita y la brecha en caolín (Meagher, 2007).
- **Suelos:** En ambos lados de la cañada el suelo es delgado por lo que el sustrato geológico se ha expuesto, provocando que las rocas se descompongan lentamente, originando que la formación de los suelos sea más lenta. Sin embargo, los depósitos de humus se presentan en lugares protegidos por arbustos y árboles, grietas y fisuras de los cantos en la Ladera de los Helechos y en las zonas acuáticas. En el caso de la presa cuando está vacía el suelo es oscuro, duro, agrietado, cuando hay agua estos se vuelven negros y flojos (Meagher, 2007).
- **Hidrografía:** El ADVC se encuentra dentro de la subcuenca Presa Ignacio Allende, referente a la cuenca Río Laja. Dentro de la Región Hidrológica Lerma-Santiago (RH12). En el interior de El Charco del Ingenio se localiza la Presa Las Colonias, la cual se observan restos de un largo acueducto pegado a las paredes de la cañada, este tubo fue utilizado para transportar agua a la fábrica textil La Aurora (Salas Rodríguez, 2020).

La presa obtiene agua de los arroyos La Cañadita, El Atascadero, Las Cachinches y del Obraje (Salas Rodríguez, 2020). Pero, el principal arroyo que alimenta a la presa es el arroyo La Longaniza, este cuerpo de agua alimenta de manera superficial y temporal a la presa Las Colonias, este sigue su curso al oeste hasta encontrarse con el cañón y después se alimenta de agua subterránea a través del manantial llamado “El Charco”; asimismo, continua su curso alimentándose a su vez a la presa del Obraje, posteriormente se introduciéndose a la zona urbana de la Cabecera Municipal de San Miguel de Allende y finalmente se une al arroyo Las Cachinches hasta que desemboca en la Presa Ignacio Allende (Morales Ríos, 2018).

1.6.4. Factores bióticos

- **Flora:** De acuerdo con Meagher (2007) la zona posee varios tipos de vegetación como matorral xerófilo, pastizal y cardonal por tanto el área cuenta con una alta biodiversidad florística y faunística.

El matorral xerófilo se conforma de gramíneas con árboles, arbustos, cactáceas arborescentes. Por ejemplo: *Acacia farnesiana* y *A. schaffneri*, *Myrtillocactus geometrizans*, especies del género *Opuntia*, *Prosopis laevigata*. En el pastizal se encuentra zacate, algunas herbáceas, suculentas de menor tamaño y arbustos y árboles. En el paisaje del cardonal dominan las cactáceas arborescentes, árboles de talla mediana, espacios poblados de arbustos, pastos y vegetación herbácea; en estas áreas resaltan los géneros *Cylindropuntia*, *Myrtillocactus* y *Opuntia*.

En vegetación acuática se pueden hallar *Typha latifolia* y *Arundo donax* (El Charco del Ingenio, 2022a).

Entre las especies de plantas nativas, seis son endémicas, las cuales a su vez están consideradas con algún estatus de conservación de acuerdo con la NOM-059 SEMARNAT-2010: *Coryphantha elephantidens*, *Echinocactus grusonii*, *Ferocactus histrix*, *Mammillaria rettigiana*, *Mammillaria zephyranthoides* y *Erythrina coralloides* (Morales Ríos, 2018).

- **Fauna:** Presenta una amplia diversidad faunística en especial de aves como zambullidores, patos, pelicanos, rapaces, colibríes, entre otras. En el ANP se han reportado 159 especies de aves. De las cuales 77 son migratorias y 11 se encuentran bajo algún estatus de conservación por la NOM-059-SEMARNAT-2010, algunas de ellas son *Botaurus lentiginosus*, *Oporornis tolmiei*, *Accipiter striatus*, *Accipiter cooperi*, *Cyrtonyx montezumae* y *Passerculus sandwichensi* (El Charco del Ingenio, 2022b).

Por otro lado, se ha registrado un total de 9 especies de anfibios y 28 especies de reptiles, de los cuales, 11 se encuentran en la NOM-059 SEMARNAT-2010, *Gerrhonotus liocephalus*, *Sceloporus grammicus*, *Hypsiglena torquata*, *Micrurus fulvius*, *Crotalus molossus*, *Thamnophis melanogaster canescens*, *Pituophis deppei*, *Coluber flagellum* y *Lampropeltis triangulum* (El Charco del Ingenio, 2022c).

También se han registrado algunos mamíferos como: *Lepus californicus*, *Sciurus oculatus* y *Bassariscus astutus* (El Charco del Ingenio, 2020) (El Charco del Ingenio, 2022d).

II. JUSTIFICACIÓN

La importancia hídrica del sitio repercute en su función de retención de sedimentos cuenca abajo y en la prevención de grandes flujos de agua hacia la ciudad de San Miguel de Allende, por lo tanto, se considera que el 80% del agua que escurre y atraviesa la ciudad proviene de la microcuenca en la que la presa se encuentra, debido a esto el humedal actúa como una esponja que regula los escurrimientos hacia la cabecera principal (Hernández Peña, s.f.).

Asimismo, la presa recibe y retiene una gran cantidad de sedimentos, de esta manera funciona como un amortiguador de la fuerza del agua en temporada de lluvias torrenciales, minimizando el factor de vulnerabilidad de la comunidad ante estos fenómenos (Hernández Peña, s.f.). Por esta razón, es esencial darle un buen manejo a la calidad de agua ya que podría poner en peligro la integridad de los habitantes.

Por otro lado, la presa Las Colonias retiene aguas estacionales permaneciendo hasta el final de la temporada de sequía, asegurando el hábitat y disponibilidad del recurso hídrico para una amplia gama de especies florísticas y faunísticas locales, migratorias entre otras (Hernández Peña, s.f.). No obstante, en la actualidad se han reportado la presencia de contaminantes principalmente de origen industrial y ganadero, situación que atenta fuertemente al provocar un desequilibrio ecológico dentro del humedal y sus alrededores, colocando en peligro a especies nativas, migratorias y endémicas del lugar, ya que un cambio en el cuerpo de agua tendría consecuencias en toda el área.

Debido a que los análisis fisicoquímicos de la calidad del agua son costosos y muy complejos se han empelado nuevas estrategias para la determinación de esta, como lo es el empleo de bioindicadores ya que estos suelen ser de bajo costo y de fácil manejo e interpretación. Por tal motivo, el uso de bioindicadores que hoy en día ha ganado terreno como herramienta para el estudio de la calidad del agua es una pieza fundamental para comprender, prevenir, plantear estrategias y tratar cuerpos de agua contaminados o propensos a la contaminación de diversos orígenes. Los organismos indicadores son distintos por lo cual brinda aproximaciones muy certeras al estado de los cuerpos hídricos.

III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Qué especies bioindicadoras de la calidad del agua existen en el humedal de “El Charco del Ingenio”, San Miguel Allende, Guanajuato?
- ¿Qué factores relacionados con la calidad del agua en el humedal de “El Charco del Ingenio”, San Miguel Allende, Guanajuato se pueden diagnosticar con la presencia o ausencia de bioindicadores?

IV. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la presencia de bioindicadores de la calidad de agua en el humedal de “El Charco del Ingenio”, San Miguel Allende, Guanajuato.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recabar y clasificar información referente a la presencia de bioindicadores de la calidad del agua en el humedal de “El Charco del Ingenio”, San Miguel Allende, Guanajuato
- Buscar e identificar organismos indicadores de la calidad del agua presentes en el humedal de “El Charco del Ingenio”, San Miguel Allende, Guanajuato
- Analizar las relaciones entre los bioindicadores de la calidad del agua en el humedal de “El Charco del Ingenio”, San Miguel Allende, Guanajuato y los parámetros de contaminación que se han asociado a su presencia
- Estimar la calidad del agua del humedal de “El Charco del Ingenio”, San Miguel Allende, Guanajuato con base en la presencia de bioindicadores y algunos parámetros asociados

V. METODOLOGÍA

5.1. ÁREA DE ESTUDIO

La delimitación del área de estudio implicó el sistema hidrológico del Jardín Botánico “El Charco del Ingenio” en San Miguel de Allende, Guanajuato, el cual comprende un humedal artificial distribuido a través de la Presa Las Colonias, un cañón, un manantial llamado “El Charco” y parte de la presa del Obraje, mismos que representan el flujo del recurso hídrico proveniente del río La Longaniza (Figura3).

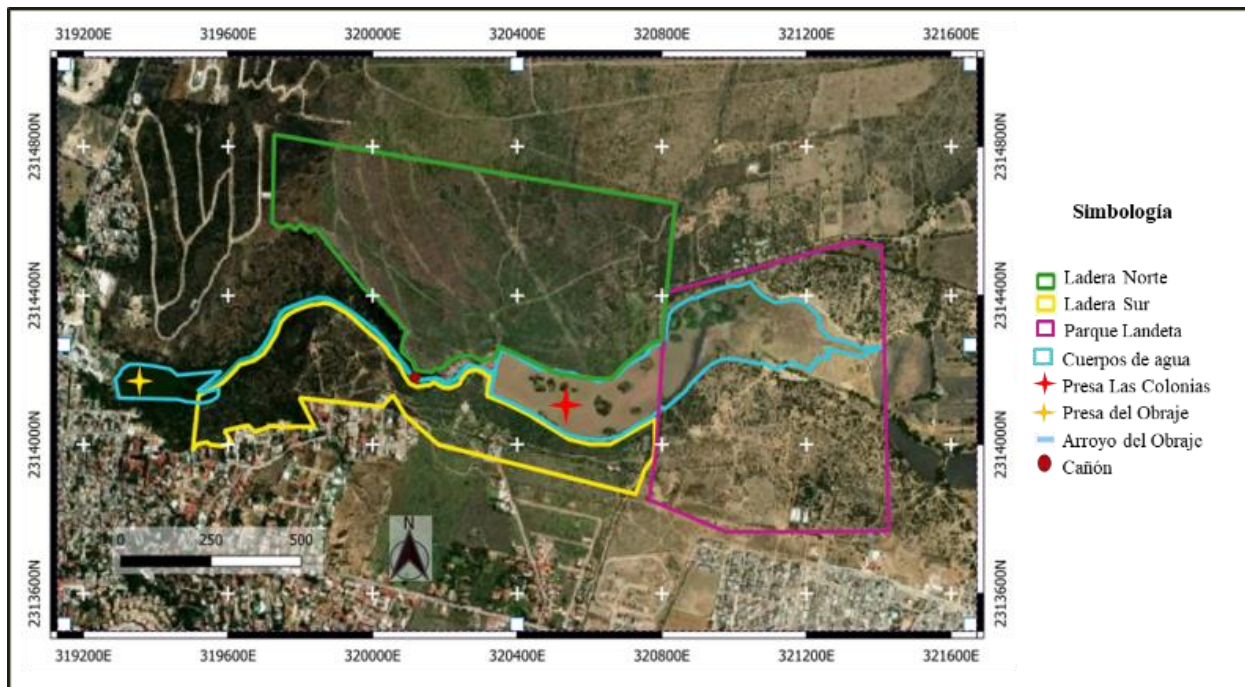


Figura 3: Delimitación del humedal y de la localización del Jardín Botánico El Charco del Ingenio en el estado de Guanajuato, México.

El complejo hídrico recibe contribuciones no solo del río La Longaniza, sino también de múltiples escurrimientos y arroyos de las zonas aledañas. De manera particular los escurrimientos atraviesan zonas agrícolas, pecuarias, industriales y urbanas llevando consigo diversos contaminantes del suelo como lo son partículas de estos, y aguas residuales de distintos orígenes (Figura 4).

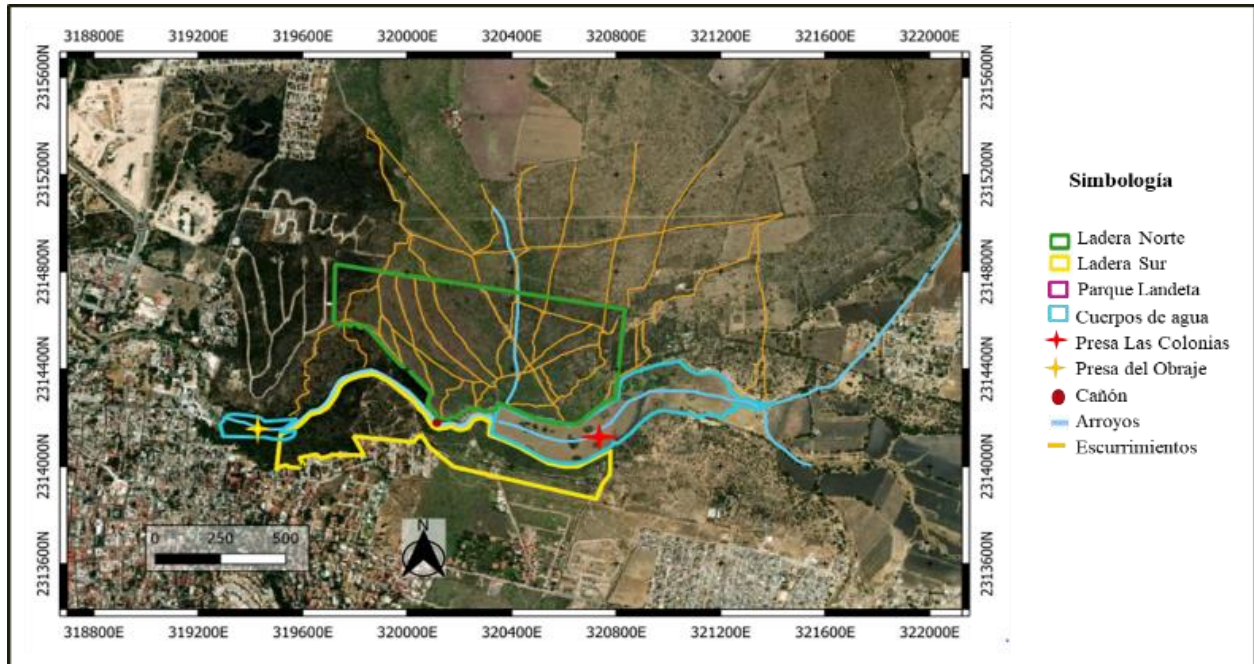


Figura 4: Escurremientos (líneas naranjas) y arroyos (líneas azules) de zonas aledañas que contribuyen al contenido hidrológico del humedal.

Para realizar los muestreos tanto de parámetros fisicoquímicos como de organismos bioindicadores se delimitaron cinco zonas de estudio, estas zonas se eligieron principalmente por sus características ecológicas. El agua ingresa a la Presa por el noreste, la zona este se le denominó zona 3 (marcada en rojo) en este sitio se tiene abundancia de carrizos y el agua se mueve a través de la presa con un flujo lento, en seguida se presenta una curva, en esta zona se le conoce como “playa”, por lo que se dividió en dos, 2a y 2b (marcada en naranja), ya que el agua se dirige hacia el este y hacia el sur; a la zona que colinda con la cortina de la presa se llamó zona 1, siendo también la zona mas profunda (marcada de verde); hacia el sur la zona cuenta con una zona de fuerte pendiente que la hace inaccesible y al hacer una curva se divide las zonas 5a y 5b (marcada con azul) y finalmente, colindando con la zona 3 se tiene a la zona 4 (marcada de amarillo) que es una zona léntica; esta división se muestra en la Figura 5.

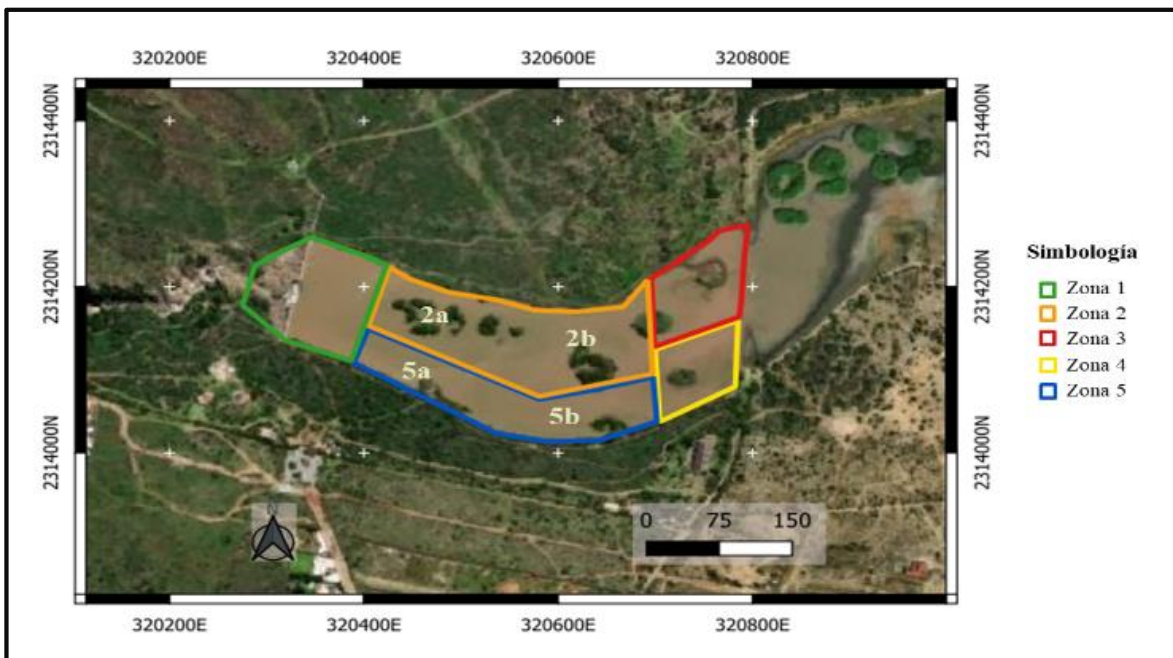


Figura 5: Delimitación de las cinco zonas de estudio del humedal, la zona 2 esta subdividida en 2a y 2b de acuerdo con la toma de muestras de agua, al igual que la zona 5 (5a y 5b).

Los muestreos en cada punto se realizaron de la siguiente forma:

- a) **Parámetros Físicoquímicos.** Se midieron cuatro parámetros físicoquímicos (potencial de hidrógeno, milivoltios, milivoltios relativos y temperatura) utilizando un instrumento multiparamétrico HI98190 (Hanna Instruments). Este aparato se calibra de acuerdo con sus instrucciones, tiene un sensor con un cable de 1.5 metros.
 En los puntos elegidos a la orilla de la presa se introduce la punta del sensor y se espera a que se estabilice la pantalla y se toma la medición, este procedimiento se toma tres veces en un espacio con un metro de distancia y se toma el valor promedio.
 Los valores de calidad de agua más extensos se tomaron de Morales Ríos (2018).
- b) **Organismos bioindicadores.** En los mismos puntos en donde se tomaron los datos de agua se tomaron las muestras de organismos. Estas muestras se tomaron con un cucharón de 250 ml., que esta adherido a un mango de madera de 1.5 metros. Con este se toma una muestra de agua y posteriormente una muestra de sustrato, esto se pone en un envase, se repite esto tres veces. Se integra una muestra compuesta de 1.5 litros y se traslada al laboratorio.
 En el laboratorio se procesan las muestras para lo cual se pasan por un cernidor con una apertura de malla de 0.5 mm y los organismos que persisten se ponen en un frasco con

alcohol al 70%, para posteriormente observarse al microscopio y proceder a su identificación con claves apropiadas.

5.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DE ESTUDIOS PREVIOS

Se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de determinar la presencia de flora y fauna dentro de El Charco del Ingenio en años recientes, posterior a esto y con base en bibliografía especializada se seleccionaron distintos organismos, los cuales mediante estudios toxicológicos y a través de su presencia o ausencia han sido utilizados por distintos grupos de trabajo como indicadores de la calidad ambiental en materia hídrica. Asimismo, se consideraron estudios de la calidad del agua previos y se tomaron algunos datos para corroborar la información.

En la siguiente tabla se presentan las fuentes bibliográficas de donde se obtuvieron datos base del sitio de estudio para este trabajo:

Tabla 6: Principales fuentes bibliográficas de donde se obtuvieron datos base para este trabajo.	
Autor	Información obtenida
Chávez, 2020	Invertebrados de El Charco del Ingenio
De la Lanza, 2000	Bioindicadores
Díaz Prado, 1993	Peces Cuenca Río Lerma
Durán, 2018	Macroinvertebrados Río Jalpan
El Charco del Ingenio, 2020-2022	Inventarios de Flora y Fauna
Hernández, 2020	Información general de El Charco del Ingenio
Meagher, 2007	Datos de Flora de El Charco del Ingenio
Morales, 2018	Datos de calidad de agua Datos generales de El Charco del Ingenio
Naturalista, 2020	Datos de distribución de las especies
Orozco, 2013	Guía de aves del Charco del Ingenio, San Miguel Allende, Guanajuato
Orozco, 2016	Los manantiales del El Charco del Ingenio y Cieneguita en San Miguel Allende, Guanajuato
Salas, 2020	Aves acuáticas Sitio Ramsar

5.3 INDICE DE BMWP (BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY)

Se realizó el protocolo para la determinación del índice BMWP con base en el desarrollado por Pineda-López y col. (2014), en donde se clasificaron las familias de macroinvertebrados que se seleccionaron a partir de las revisiones bibliográficas y se les asignó un valor numérico cuya sumatoria final indicó el grado de contaminación por materia orgánica, presente en el sistema hídrico del área de estudio. Esta información fue utilizada como un elemento más en los análisis de relación para la determinación de la calidad del agua.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. CARACTERÍSTICAS DEL AREA

La zona de estudio se localiza en la Región Hidrológica Administrativa Lerma Santiago, en la Cuenca Hidrográfica Lerma Chapala, en la cuenca Alta del Río Laja, y fue catalogada como Región Hidrológica Prioritaria 57 “Cabecera del Río de la Laja” por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) por constituir el hábitat de numerosas especies de flora y fauna silvestre.

Con relación a la hidrografía, el río Laja es la corriente principal del municipio de San Miguel de Allende, el cual cruza de norte a sur para desembocar en el río Lerma, en el municipio de Salamanca. Actualmente este río presenta importantes problemas de contaminación, debido a que se utiliza como canal de desagüe, ya que sobre él se vierten las aguas residuales de uso doméstico sin previo tratamiento, principalmente de las poblaciones de Dolores Hidalgo y San Miguel de Allende.

Existen, además cuatro arroyos que atraviesan la cabecera municipal, los cuales son: La Cañadita, El Atascadero, Las Cachinches y El Obraje; éste último es el más importante de los cuatro, ya que recibe agua de los veneros localizados en la zona de la Landeta y de las lluvias de temporal, y alimenta a la presa Las Colonias y la presa El Obraje.

El municipio cuenta con algunos cuerpos de agua importantes, entre los que sobresalen la presa Ignacio Allende, localizada al poniente de la cabecera municipal, que se utiliza para el abastecimiento de agua del municipio, y tiene la función de mantener el control del Río Lajas; de menor importancia se tienen la presa de La Cantera y el Bordo Grande, localizados al sur y norte de la cabecera municipal, respectivamente, y las presas Las Colonias y El Obraje, esta última utilizada para abastecer de agua a los terrenos de riego existentes en la zona.

En esta zona se han realizado distintos trabajos asociados y/o enfocados en la calidad del agua presente en el sistema hídrico y su relación con diferentes factores tanto bióticos como abióticos, así como en materia de conservación, entre estos trabajos podemos destacar a Carbajal-Becerra y col., (2020); Morales Ríos, (2018); Orozco Uribe, (2016); Salas Rodríguez, (2020).

Esta área ha resultado ser una zona de gran importancia para la región, debido a que desde tiempos de la colonia este sitio ha proporcionado múltiples servicios ecosistémicos a los pobladores

de San Miguel de Allende, posteriormente y a partir de 1989 cuando se comenzó la rehabilitación y rescate de La Cañada, El Charco del Ingenio se ha convertido en un sitio de alto valor ecológico, en el cual se fomenta la conservación, la investigación, la educación y el esparcimiento.

Como se mencionó el sitio de estudio fue dividido en 5 zonas de acuerdo con las características ecológicas que presenta, a continuación, se presenta una descripción de cada una de ellas y fotografías ilustrándolas (Tabla 7).

Tabla 7: Descripción de las cinco zonas de estudio.





Zona	Características	Fotos	
<p>1</p>	<p>Esta zona comprende la parte que se encuentra alrededor de la cortina de la presa, en la parte que contiene a el agua encontramos que esta agua ya ha transitado por todo el humedal y que al tener suficiente volumen rebasa la cortina y cae hacia la parte del cañón continuando su trayecto hasta la presa del obraje.</p> <p>En esta zona encontramos nadando a los patos y encontramos a algunas garzas, se tienen ambas especies de los patos indicadores.</p> <p>Es la zona en donde se tendría el mayor contacto con las personas.</p> <p>Una característica es que la caída de la presa es violenta, ocasionando el movimiento y oxigenación del agua, asimismo los sedimentos se retienen en la parte de la cortina.</p> <p>En las pozas que se forman después del paso de la corriente se tiene una gran diversidad de organismos, principalmente macroinvertebrados, anfibios, y es un área visitada por aves (no-acuáticas) y mamíferos como ardillas, ratones</p>	 <p>Vista de la Cortina en la parte superior (Figura 6).</p>	 <p>Vista de la cortina con derrame de agua (Figura 6).</p>
		 <p>Vista de la parte inferior de la cortina (Figura 6).</p>	 <p>Pozas que se mantienen después del paso de las corrientes de agua (Figura 6).</p>

Tabla 7: Descripción de las cinco zonas de estudio.

Zona	Características	Fotos	
		<div data-bbox="1255 363 1661 657" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1020 678 1898 743">Parte baja de la presa y el acueducto que se tenía para llevar el agua a la Presa Obraje (Figura 6).</p>	
2	<p data-bbox="275 769 997 1091">Esta zona se encuentra en la ladera norte y corresponde a la parte intermedia entre la zona por donde ingresa el agua a la Presa Las Colonias y la parte de la cortina de la presa, se caracteriza por ser la zona en donde se tienen los escurrimientos de la ladera por lo que es una zona muy limosa, se encuentra una gran cantidad de las aves conocidas como playeras y también es la zona en donde se tienen muchos registros de mamíferos que bajan a beber agua.</p>	<div data-bbox="1020 764 1425 1065" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1020 1086 1444 1156">Zona baja en donde se observan a las aves playeras (Figura 6).</p>	<div data-bbox="1472 794 1877 1097" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1472 1105 1898 1175">Zona con agua y presencia de <i>Lemna gibba</i> (Figura 6).</p>

Tabla 7: Descripción de las cinco zonas de estudio.









Zona	Características	Fotos	
		 <p data-bbox="1024 678 1451 748">Huellas de mapache en la parte de la zona de “playa” (Figura 6).</p>	 <p data-bbox="1476 695 1902 797">Excretas de zorra gris en una roca en la parte de la zona de “playa” (Figura 6).</p>
3	<p data-bbox="275 821 999 997">Esta zona se encuentra en la ladera norte y corresponde a la parte por donde ingresa el agua a la Presa Las Colonias, se caracteriza por ser la zona en donde se tienen los escurrimientos de la ladera por lo que es una zona muy limosa.</p> <p data-bbox="275 1019 999 1235">En esta zona se tiene gran cantidad de carrizo por lo que es una zona preferida por las garzas, principalmente por <i>Bubulcus ibis</i>, asimismo se encuentra una gran cantidad de las aves conocidas como playeras y también es la zona en donde se tienen muchos registros de mamíferos que bajan a beber agua.</p>	 <p data-bbox="1024 1157 1451 1227">Vista de la zona de entrada de la corriente de agua (Figura 6).</p>	 <p data-bbox="1476 1138 1902 1243">Zona limitrofe entre la zona 3 y la 2, se aprecia la playa con textura limosa (Figura 6).</p>

Tabla 7: Descripción de las cinco zonas de estudio.

Zona	Características	Fotos	
		<p data-bbox="1024 358 1108 418">12</p>  <p data-bbox="1024 678 1392 711">Vista panorámica (Figura 6).</p>	<p data-bbox="1476 358 1560 418">13</p>  <p data-bbox="1476 678 1898 743">Límites entre zona 2 y 3 (Figura 6).</p>
4	<p data-bbox="275 768 999 1019">Esta zona se encuentra en la ladera sur en el límite con el Parque Landeta, es la zona con menor movimiento de agua y de presencia de organismos, en esta zona se colectan los escurrimientos de la ladera sur que son menores que la ladera norte debido a que se tienen senderos interpretativos y el agua se absorbe en la misma ladera</p>	<p data-bbox="1024 764 1108 824">14</p>  <p data-bbox="1024 1091 1451 1198">Zona central en donde se forman islas y se resguardan los patos (Figura 6).</p>	<p data-bbox="1476 764 1560 824">15</p>  <p data-bbox="1476 1091 1898 1156">Zona de orilla con algunos patos (Figura 6).</p>

Tabla 7: Descripción de las cinco zonas de estudio.

Zona	Características	Fotos	
<p>5</p> <p>Esta zona se encuentra en la ladera sur es la zona intermedia entre la zona que colinda con el Parque Landeta y la cortina de la Presa, es una zona con gran cantidad de carrizos y es inaccesible para las personas, por lo que se tiene una gran cantidad de patos y garzas, es una zona limosa.</p> <p>En esta zona se colectan los escurrimientos de la ladera sur que son menores que la ladera norte debido a que se tienen senderos interpretativos y el agua se absorbe en la misma ladera</p>		 <p>16</p> <p>Zana baja con las garzas y algunas aves playeras (Figura 6).</p>	 <p>17</p> <p>Zona de carrizos (Figura 6).</p>
		 <p>18</p> <p>Zona rocosa en el limite con la zona 1 (Figura 6).</p>	 <p>19</p> <p>Limites de zona 4 y 5 (Figura 6).</p>

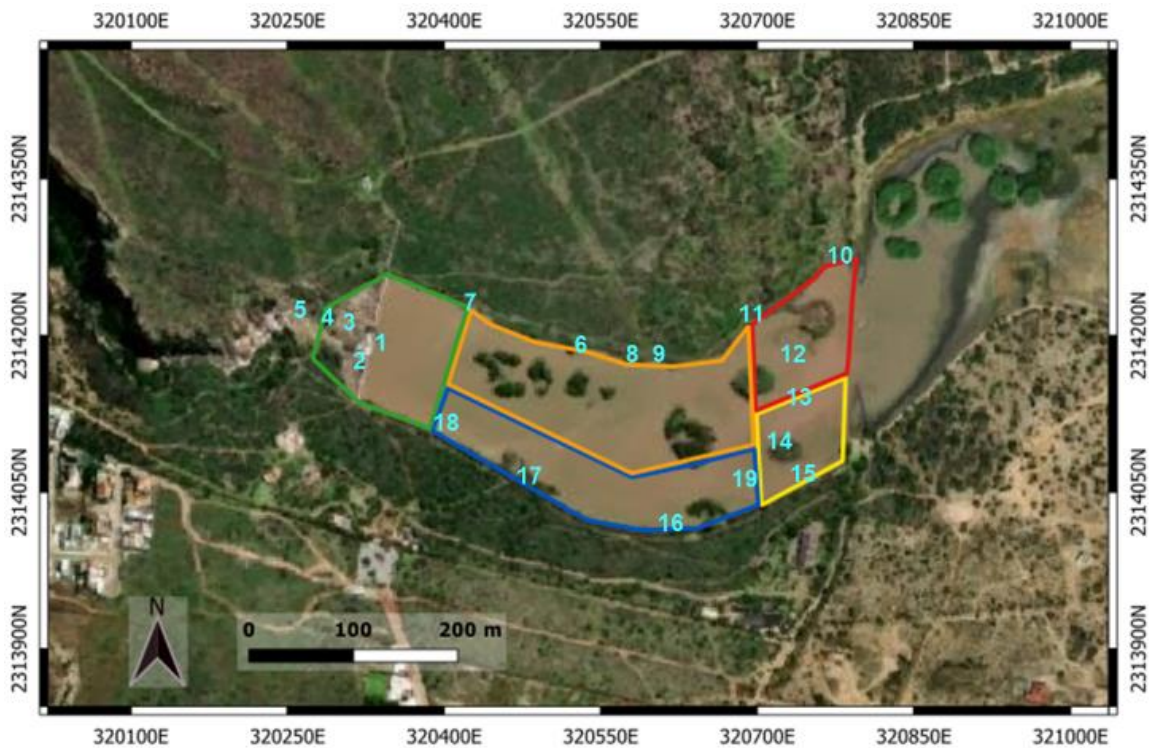


Figura 6: Representación gráfica del humedal y los puntos fotografiados (1 al 19) presentes en la tabla 6.

6.2. FLORA Y FAUNA DE LA ZONA

El sistema hídrico, mismo que es un humedal artificial funge como hábitat y lugar de descanso de una diversidad muy grande de organismos tanto acuáticos como terrestres, entre estos podemos encontrar especies nativas, endémicas, exóticas, migratorias y cosmopolitas (Hernández Peña y Avalos, 2020; Morales Ríos, 2018; Salas Rodríguez, 2020). A lo largo del tiempo se han registrado aproximadamente 872 especies y familias de organismos dentro de El Charco del Ingenio, de entre ellas el 61.5% corresponde a plantas tanto acuáticas como terrestres, el 5.8% corresponde a especies de líquenes, el 23.5% a aves, el 3.7% a mamíferos, el 1.8% a reptiles, el 0.2% a anfibios y el 3.4% a diversas familias de macroinvertebrados (Carbajal-Becerra y col., 2020; El Charco del Ingenio, 2020; Hernández Peña y Avalos, 2020).

La importancia del humedal como nicho ecológico, así como su contribución a la biodiversidad del área natural protegida se denota en que el 8.4% de la fauna reportada tiene su hábitat asociado a este, sin contar la gran diversidad de flora que también habita en el cuerpo de agua. De entre la fauna descrita anteriormente se tiene que el 5.2% pertenece a aves con hábitos

acuáticos, el 2.9% a macroinvertebrados que poseen algún estadio de su ciclo de vida estrictamente acuático, el 0.2% pertenece a los anfibios y el 0.1% a reptiles de hábitos acuáticos (El Charco del Ingenio, 2020; Hernández Peña y Avalos, 2020). En general se tienen que el 3.4% de los organismos pueden fungir como un potencial bioindicador de la calidad del agua y son los organismos presentes en este porcentaje los que se emplearon para este trabajo.

6.3. ORGANISMOS INDICADORES

6.3.1. Revisión bibliográfica

A partir de la revisión bibliográfica se logró identificar como posibles organismos indicadores a veinticinco especies y familias de organismos (Tabla 8) cuya presencia ha sido reportada dentro del sistema hídrico perteneciente a “El Charco del Ingenio” de las cuales dos de ellas son peces, dos son plantas acuáticas, dieciocho son macroinvertebrados, dentro de estos, quince pertenecen al grupo insecta y tres a los grupos Crustácea, Mollusca y Annelida respectivamente; así como dos especies de aves y un reptil.

Dentro de los peces se encuentran las especies *Heterantria bimaculata* y *Poeciliopsis infans*, el primero de estos es una especie también conocida como Guatopote manchado, que habita principalmente a las orillas de lagos, ríos, manantiales y presas en México, especialmente en aguas lénticas y con abundante vegetación (de la Lanza Espino, 2000a). Esta especie suele alimentarse en su mayoría de insectos terrestres y acuáticos sin embargo se han encontrado huevos de otras especies de peces y restos óseos en sus intestinos producto de su dieta variable (Carbajal-Becerra y col., 2020; Trujillo-Jiménez y Toledo Beto, 2007). Gracias a su estrategia trófica *H. bimaculata* tiene la capacidad de establecerse y tolerar diferentes condiciones ambientales, ya que puede consumir una amplia variedad de recursos alimenticios inclusive aquellos provenientes de actividades humanas con lo que puede resistir variaciones físicas, químicas y biológicas dentro de su hábitat (Carbajal-Becerra y col., 2020).

Esta afirmación se ve sustentada por diferentes autores mismos que proponen a *H. bimaculata* como un organismo tolerante a la contaminación urbana e industrial y su presencia ha sido utilizada para clasificar sitios como ambientes contaminados (de la Lanza Espino, 2000; Vázquez Silva y col., 2011). Por ejemplo, en el trabajo de Vázquez Silva y col., (2011) se realizó

un muestreo de distintas especies de peces con la intención de utilizarlos como bioindicadores de la calidad de agua y se observó la presencia de *H. bimaculata* en zonas contaminadas de un río de Morelos en México.

Tipo de organismo		Familia/Especie
Peces		<i>Heterantria bimaculata</i>
		<i>Poeciliopsis infans</i>
Plantas acuáticas		<i>Lemna gibba</i>
		<i>Ludwigia peploides</i>
Macroinvertebrados	Insecta	Familia Aeshnidae
		Familia Baetidae
		Familia Caenidae
		Familia Ceratopogonidae
		Familia Chironomidae
		Familia Coenagrionidae
		Familia Corixidae
		Familia Culicidae
		Familia Dytiscidae
		Familia Gyrinidae
		Familia Hydrophilidae
		Familia Lestidae
		Familia Libellulidae
		Familia Notonectidae
	Familia Stratiomyidae	
	Crustácea	Familia Cambaridae
	Mollusca	Familia Physidae
	Annelida	Familia Glossiphoniidae
Aves		<i>Anas platyrhynchos diazi</i>
		<i>Fulica americana</i>
Reptiles		<i>Thamnophis cyrtopsis</i>

Por su parte *Poeciliopsis infans* es un pequeño pez con un promedio de longitud de treinta milímetros, es de tonalidades oscuras que van desde un gris claro hasta negro, poseen un periodo

reproductivo largo y habita en aguas estancadas y poco profundas cerca de la costa de lagos, ríos, arroyos, estanques, canales y manantiales con gran vegetación. Esta especie tiene un papel ecológico importante ya que posee una gran capacidad de adaptabilidad a su hábitat y es considerada una especie tolerante ya que puede habitar cuerpos de agua con altos niveles de degradación ambiental. Este pez puede alimentarse de larvas de insectos, invertebrados pequeños, vegetación acuática y de desechos de origen vegetal y/o animal, estos últimos le confieren resistencia a cambios en la disponibilidad del recurso alimenticio (Pérez Osorio y col., 2014; Ramírez Herrejón y col., 2013).

Su papel como bioindicador ha sido confirmada en varias ocasiones por distintos autores y se ha demostrado que puede ser tolerante a la contaminación orgánica intensa, altos niveles de turbidez en el agua, niveles bajos de oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos y sulfatos de origen industrial, doméstico y agrícola (Cervantes Cocom y Chan Ceh, 2011; de la Lanza Espino, 2000; Díaz Prado y col., 1993; Lyons y col., 2000), debido a esto la presencia de *P. infans* es considerada un buen indicador de la calidad ambiental en cuerpos de agua.

Dentro de las plantas acuáticas están presentes *Lemna gibba* y *Ludwigia peploides*, la primera es una hidrófita pequeña, perteneciente a la familia Lemnaceae, presenta frondas ovaladas o parcialmente redondeadas, de color verde grisáceo o pardo rojizo, esta flota sobre la superficie del agua, principalmente en lagos, zangas, canales de riego, terrenos inundados, manantiales, estanques y arroyos ricos en nutrientes (Izazola Rodríguez, 2021; Rejmánková, 1975). Sumado a esto *L. gibba* ha demostrado ser tolerante no solo a ambientes eutrofizados sino también a ambientes contaminados con metales pesados y sustancias de origen industrial, además tienen la capacidad de almacenar estos compuestos en su interior por lo cual ha sido ampliamente utilizada en estrategias de remediación de cuerpos de agua (Bres y col., 2012; Caviedes Rubio y col., 2016; Hegazy y col., 2017). Un estudio realizado por Megateli y col., (2009) demostró que *L. gibba* puede poblar rápidamente cuerpos de agua con concentraciones bajas y moderadas de metales pesados.

Los macroinvertebrados reportados en el área de estudio están representados por los órdenes Insecta, Crustácea, Mollusca y Annelida. Para el orden Insecta se reportaron quince familias, y se reportó una familia para los órdenes Crustácea, Mollusca y Annelida, respectivamente. Dentro de las familias de insectos se encuentran Aeshnidae, Baetidae, Caenidae,

Ceratopogonidae, Chironomidae, Coenagrionidae, Corixidae, Culicidae, Dytiscidae, Gyrimidae, Hydrophilidae, Lestidae, Libellulidae, Notonectidae y Stratiomyidae.

La familia Aeshnidae está caracterizada por libélulas de vuelo rápido, generalmente son de color pardo o negro, con bandas de color de poca intensidad, pintadas de azul, verde o amarillo, se alimentan de invertebrados así como de vertebrados pequeños, y habitan principalmente cuerpos de agua lénticos como pantanos, lagos, arroyos y estanques con vegetación alta y clima árido (Escoto Moreno y col., 2014; Thorp y Covich, 2009).

Su papel como bioindicador de la calidad ambiental se relaciona principalmente a su alta sensibilidad a la contaminación, por lo cual esta familia de insectos suele poblar cuerpos de agua de buena calidad (Marín Ortega, 2018; Pineda-López y col., 2014), no obstante diversos estudios han reportado una tolerancia relativa (Oguma y Klerks, 2020) y la capacidad de bioacumular metales pesados como plomo, cobre, zinc, mercurio, etc. (Anderson, 1977; Goodyear y McNeill, 1999; Wolfe y col., 2018). Por parte de estos organismos, incluso, se les ha propuesto como un buen indicador de contaminación de origen industrial (Pahari y col., 2019). Esta tolerancia relativa está determinada por una diversa gama de factores entre los que destaca la concentración y disponibilidad de los metales pesados (Oguma y Klerks, 2020), por lo tanto se pueden encontrar ejemplares de la familia Aeshnidae en cuerpos de agua con cierto nivel de contaminación (Marín Ortega, 2018; Mmako y col., 2021).

En cuanto a la familia Baetidae esta pertenece al orden Ephemeroptera mismo que se distribuye en casi la totalidad de los ecosistemas acuáticos lénticos y lóticos, son efímeras pequeñas, generalmente presentan alas delanteras alargadas y de forma ovalada, con alas posteriores pequeñas o ausentes (Forero-Céspedes y col., 2016; Forero-Céspedes y Reinoso Flórez, 2013; Nieto, 2010; Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2013). Debido a su rica diversidad y a su preferencia de sustrato esta familia de organismos es ampliamente utilizada como un bioindicador de la calidad hídrica (Forero-Céspedes y Reinoso-Flórez, 2013), en aguas no contaminadas o con poca contaminación esta familia es muy diversa mientras que, en aguas estancadas su diversidad suele ser menor (Gattolliat y Nieto, 2009).

De manera particular la presencia de estos organismos se relaciona con cuerpos de agua de buena calidad o contaminados por materia orgánica en diferentes grados, esto se debe a que su dieta se basa principalmente en detritus con lo cual suelen ser tolerantes a distintos niveles de

eutrofización causada principalmente por el incremento de materia orgánica (Forsin Buss y Falcão Salles, 2007; Menetrey y col., 2008; Oliveira y Callisto, 2010; Rowe, 2014), con todo esto en la familia Baetidae existen especies que van desde muy sensibles hasta muy tolerantes referente a los cambios de su hábitat producto de perturbaciones antropogénicas (Rowe, 2014; Sueb y col., 2021).

La familia Caenidae se encuentra dentro de las efímeras más pequeñas con un ciclo de vida corto, su alimentación en etapa larval se basa en distintas algas y detritus, habitan diferentes cuerpos dulceacuícolas lénticos y lóticos que van desde charcas pequeñas hasta ríos grandes con presencia de vegetación (Flowers y de la Rosa, 2010). Estos organismos han sido reportados como resistentes a los cambios en su medio derivados del impacto antropogénico (Braga y col., 2013) y son primordialmente tolerantes a la contaminación por materia orgánica (Córdova y col., 2009; Edegbene y Arimoro, 2012; Gallardo Mayenco y col., 2004; Masese y col., 2013), altos niveles de salinidad (Lakhloufi y col., 2021; Zinchenko y Golovatyuk, 2013), niveles bajos de oxígeno disuelto, incluso son tolerantes a ambientes eutrofizados (Flowers y de la Rosa, 2010).

A pesar de que la familia Caenidae no es utilizada como un indicador de buena calidad se ha reportado su presencia en cuerpos de agua de buena calidad y se sabe que no pueden sobrevivir a niveles altos de contaminación (Edegbene y Arimoro, 2012; Nelson y Kullasoot, 2009), un ejemplo de esto es la sensibilidad relativa que presentan hacia los metales pesados ya que a dependencia de la concentración de estos y a su biodisponibilidad es si pueden o no colonizar un hábitat (Erhomosele Ehikhamele y Sunday Ogbogu, 2017; Ocon y Rodrigues Capítulo, 2004).

Los integrantes de la familia Ceratopogonidae son pequeños dípteros de entre 1-6 mm de largo y su cuerpo va desde esbelto hasta moderadamente robusto, su alimentación es muy diversa y puede depender de la especie, pero en general está basada en sustancias azucaradas, otros insectos y sangre principalmente de mamíferos, algunas especies son ectoparásitos de insectos mayores (Lopes da Trindade y de Sousa Gorayeb, 2010). Esta amplia gama de recursos alimenticios tiene una estrecha relación con la particularidad de estos insectos para poblar casi cualquier hábitat, incluso dentro de esta familia existen especies que son cosmopolitas, gracias a estos y demás factores, la familia Ceratopogonidae es una de las familias de insectos más antigua y rica en integrantes (Ronderos y col., 2018).

De manera integral los miembros de esta familia es tolerante y habita ambientes impactados y modificados por la actividad humana, pueden tolerar concentraciones de moderadas-altas de

diversas sustancias como los iones formadores de sales como el sodio, el cloruro, el magnesio, el sulfato y el boro, materia orgánica y metales pesados (Bouchelouche y col., 2021; Couceiro y col., 2007; Mullens y Luhring, 1996; Schmidtmann y col., 2000). Sumado a esto se sabe que en sus estados larvarios estos organismos necesitan de una alta concentración de materia orgánica para completar su desarrollo (Ronderos y col., 2018), con todo esto, los integrantes de la familia Ceratopogonidae son en su mayoría indicadores de una mala calidad del agua (Pineda-López y col., 2014).

La familia Chironomidae (quironómidos) está formada por mosquitos que no pican, estos son abundantes y están ampliamente distribuidos en cuerpos de agua continentales, presentan una etapa adulta de corta duración y solo se encuentran en cantidades considerables cuando se asocian a ambientes eutrofizados. Por otro lado, las larvas forman parte de la fauna bentónica de cuerpos de agua naturales o artificiales, estos cuerpos pueden ser de amplia o de reducida superficie y de poca o gran profundidad con agua corriente o estancada (Armitage col., 2012; Cranston, 2004; Scheibler col., 2008).

Por su parte la familia Coenagrionidae es una familia muy diversa de libélulas, es la segunda más grande de los odonatos, se distinguen por una serie de características como ser delgados, pequeños, de coloración variada y no son iridiscentes, además sus alas son transparentes y con la punta redondeada. Estos organismos habitan en casi cualquier parte del mundo principalmente asociados a ambientes acuáticos generalmente ríos, quebradas, pantanos, estanques y arroyos; las ninfas suelen habitar cuerpos de agua ricos en vegetación localizada a las orillas (Paulson, 2009; Ramírez, 2010; Subramanian, 2005)

Tanto la familia Coenagrionidae como Chironomidae han sido utilizados como indicadores de la calidad del agua principalmente en cuerpos de agua modificados por actividad antropogénica y contaminados. Se les ha relacionado con ambientes severamente contaminados con sustancias como materia orgánica, metales pesados (Pb, Cu, Cr, Al, Zn, Cd, etc.) y otras sustancias como amoníaco o fosfatos, así como con iones formadores de sales, provenientes de la industria, agricultura y demás acciones urbanas (Beketov, 2002; Nasirian, 2014; Paggi, 1999; Patarasiriwong, 2000; Rico-Sánchez y col., 2021; Shimba y col., 2018; Tollett y col., 2009; Wakefield, 2017). Estos organismos están presentes en sistemas hídricos eutrofizados, anóxicos y aguas residuales (Cleto Filho y Walker, 2001; Rosa y col., 2014; Shimba y col., 2018) y de manera general se les asocia

con ambientes de moderado a severamente contaminados (Nasirian, 2014; Xu y col., 2014). Aunado a esto pueden tolerar diferentes umbrales para parámetros como oxígeno disuelto, sólidos totales suspendidos, pH, temperatura, etc. (Ocón y col., 2016; Paggi, 1999; Shimba y col., 2018; Wakefield, 2017).

La familia Corixidae también conocida como barqueros de agua se encuentran entre los organismos invertebrados más comunes en los humedales, por lo regular pasan gran parte de su vida en el fondo de estanques, piscinas o demás cuerpos lénticos y alcanzan densidades poblacionales elevadas especialmente en aguas poco profundas. Estos organismos no son depredadores y se alimentan generalmente de algas, microorganismos y detritus orgánicos (Swanson y Bilger, 2021). Habitan en lugares de amplia vegetación ya que le sirve como fuente de alimento y refugio (Contreras Rivero y col., 1999).

La utilización de la familia Corixidae como un indicador de la calidad del agua radica en la capacidad de estos organismos para habitar y tolerar ambientes contaminados, los integrantes de esta familia son muchos y su rango de tolerancia a distintos parámetros suelen variar, pero de forma general son tolerantes a concentraciones elevadas de salinidad (Golovatyuk y Shitikov, 2016) y materia orgánica (Savage, 1990), así como a concentraciones bajas de nitratos, oxígeno disuelto (Cierninski y Flake, 1995; Collins y Fahrig, 2020; Contreras Rivero y col., 1999) y a diversos niveles de metales pesados por lo cual se le puede encontrar colonizando cuerpos de agua contaminados con arsénico, fósforo, bario, boro, plomo, selenio o mercurio provenientes de aguas residuales y/o industriales (Cierninski y Flake, 1995; Solà y col., 2004).

Por otro lado, la familia Culicidae es megadiversa y se distribuye en todas las regiones templadas y tropicales alrededor del mundo, en esta familia se incluyen a los mosquitos o zancudos, estos poseen un ciclo de vida comprendido por cuatro estadios: el huevo, la larva, la pupa y la etapa adulta. Durante las primeras etapas de su ciclo de vida los integrantes de la familia Culicidae dependen ampliamente de los cuerpos de agua principalmente de sistemas lénticos y poco profundos, se alimentan generalmente de materia orgánica en descomposición, microorganismos y de partículas suspendidas y en su estado adulto algunas especies son hematófagas (Conabio, 2011; Harbach, 2007).

La familia Culicidae forma parte de los organismos bioindicadores de la calidad del agua debido a que son tolerantes a los deterioros en los cuerpos de agua, los integrantes de esta familia

son resistentes a concentraciones altas de amoníaco, materia orgánica en descomposición y metales pesados como el cadmio, cobre, cromo, hierro, etc., e indican baja calidad del agua siendo empleados principalmente en humedales (Džeroski y col., 2000; Latha y Gnana Thanga, 2010; Nasirian, 2014).

La familia Dytiscidae también conocidos como escarabajos de agua o escarabajos buceadores son un conjunto de organismos que suelen habitar una amplia gama de hábitats de agua dulce y ligeramente salada de poca profundidad como lo son estanques, piscinas, pantanos, presas y humedales. De manera general se asocian a un sustrato de hojarasca, su alimentación en su etapa adulta se basa principalmente en materia orgánica en descomposición y otros organismos como larvas inmaduras de escarabajos, libélulas, peces o renacuajos; en su etapa larval son depredadores y en casos de escases de alimento pueden llegar al canibalismo (Choudhary y Ahi, 2015; Larson y Roughley, 1991; Silva Soares y col., 2019; Yee, 2014).

Estos macroinvertebrados acuáticos son ampliamente utilizados como indicadores de la calidad del agua debido a su alta resistencia a la presencia de distintos contaminantes, se sabe que la tolerancia a la salinidad de estos organismos ha aumentado con su paso evolutivo logrando colonizar ambientes costeros (Villastrigo Carbajo, 2019). De igual forma estos organismos han demostrado ser resistentes a la contaminación por metales pesados (Aydoğan y col., 2020; Luo y col., 2016) y cuerpos de agua eutrofizados (Frelik, 2014) debido a la escorrentía de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas (Ertaş y Yorulmaz, 2021; Mahmoud y Riad, 2020).

La familia Gyrinidae son coleópteros acuáticos de tamaño medio, se caracterizan por poseer un cuerpo de forma ovalada, más o menos convexo y ancho por encima, su cabeza se encuentra en el protórax, tiene dos pares de ojos y presentan un órgano especializado en el pedicelo antenal que les ayuda a captar ondas generadas por los objetos dentro del agua. Estos organismos son cosmopolitas y generalmente se encuentran en lugares cálidos, viven en ambientes acuáticos lénticos como lóticos, ya sean lagos o ríos en los cuales se encuentran en las orillas de estos y en aguas corrientes se localizan fuera de la corriente principal, en remansos o en aguas de menor flujo, los adultos tienen el hábito de nadar en círculos o en líneas sobre la superficie del agua. Su alimentación se basa en insectos vivos, moribundos o muertos (Lagar Mascaró, 1967; Michat y Archangelsky, 2014; Roughley, 1961).

La familia Gyrinidae gracias a su estilo de alimentación pueden encontrarse asociados a cuerpos de agua impactados por la actividad humana siendo resistentes a distintos contaminantes (Alamrew, 2017; Barman y Gupta, 2015). Se ha observado que esta familia puede tolerar distintos niveles de salinidad (Williams y Williams, 1998), así como distintas concentraciones de metales pesados como lo son el cadmio, cobalto, plomo, zinc, manganeso, entre otros (Bere y col., 2016; Erhomosele Ehikhamele y Sunday Ogbogu, 2017), asimismo son resistentes a las concentraciones de materia orgánica, diversos iones de nitrógeno y a la turbidez, factores causados debidos a las descargas domésticas, industriales y de aguas residuales (Mbaka y col., 2015; Tchakonté y col., 2015).

La familia Hydrophilidae son escarabajos de agua y son la segunda familia más grande de escarabajos acuáticos, se encuentran en prácticamente casi todos los hábitats acuáticos, solo algunas especies son terrestres; tienen forma redondo u oblongo, generalmente son pequeños, su principal característica es que poseen entre 6 a 9 antenas y sus palpos maxilares son extendidos. Los adultos suelen ser fitófagos, saprófagos u omnívoros, por su parte las larvas son depredadoras alimentándose de distintos animales acuáticos (Benisch, 2022; Komarek, 2003; Yee y Kehl, 2015).

La utilización de esta familia de macroinvertebrados como un bioindicador de la calidad del agua se debe a su tipo de alimentación basada principalmente en la depredación de otros macroinvertebrados y materia orgánica en descomposición principalmente, además de que suelen habitar cuerpos de agua con bajo contenido de oxígeno, eutrofizados y de poca vegetación; generalmente producidos por las actividades humanas como la agricultura, la ganadería, la industria, entre otros (Aydoğan y col., 2018; Shamsoddini y col., 2016). Los miembros de Hydrophilidae son buenos indicadores de la presencia de metales pesados como níquel, zinc, boro, selenio, cobalto, etc. (Aydoğan y col., 2016, 2018); niveles altos de materia orgánica (Fikáček y col., 2010; Neumann y Dudgeon, 2002), así como de salinidad e hidrocarburos en cuerpos de agua (Arribas y col., 2014; Botella Cruz y col., 2016).

Por otro lado, la familia Lestidae perteneciente a los odonatos zigópteros, de tamaño mediano a grande (40 a 75 mm), se caracteriza por tener alas delgadas, pecioladas, de color amarillo, en algunas ocasiones presentan franjas de color marrón oscuro o negruzco, de patas finas, son cosmopolitas así que pueden encontrarse en charcas, pantanos, en áreas abiertas y en quebradas (Cabellos Cano y Mañani Pérez, 2013; Ranjan Mitra, 2006; Sáenz y De La Llana, 1990). No

obstante, se les encuentra en cuerpos de agua lénticos y de buena calidad, ya que son sensibles a la contaminación elevada y susceptibles a la presencia de metales pesados, incluso algunas especies como *Indolestes divisus* se encuentran en peligro debido al uso de pesticidas, contaminación del agua y la destrucción de su hábitat (Bere y col., 2016; Rudolph, 1978; Udagedara y Kularatne, 2015); a pesar de ser un organismo que habita cuerpos de agua de buena calidad se le ha asociado a una ligera tolerancia a la conductividad, la turbidez, sólidos disueltos, poco oxígeno disuelto y poca vegetación (Dorji y Nidup, 2020; Labajo Villantes y Nuñez, 2015), sin embargo otros autores como Galindo-Pérez y col., (2017) han registrado su presencia en cuerpos de agua altamente contaminados con materia orgánica.

La familia Libellulidae es el grupo más grande de libélulas en América del Norte, son de tamaño pequeño a mediano, generalmente poseen colores brillantes en su cuerpo, tienen un abdomen más corto y ancho, son alargados y delgados, sus ojos son grandes, sus alas son coloridas principalmente. Habita en lugares poco profundos, cálidos y tranquilos, como estanques, pantanos, humedales, prados inundados, zanjas soleadas, lagos, ciénagas (Draft, 2009; Munroe, 2012; Tennessen, 2019). Sin embargo, se ha encontrado en cuerpos de agua eutrofizados, contaminados con materia orgánica y con niveles bajos de oxígeno (Küçük, 2008); además pueden tolerar concentraciones relativas de metales pesados siendo sensibles algunos y tolerantes a otros (Corbi y col., 2011; Gupta, 1995; Tollett y col., 2009; Yoon y col., 2010). De igual forma, su tolerancia y sensibilidad a la disponibilidad de nutrientes es relativa ya que sea encontrado en cuerpos de agua con altos niveles de nutrientes como en cuerpos oligotróficos (Draft, 2009; Yoon y col., 2010).

Por otra parte, la familia Notonectidae son insectos acuáticos conocidos como barqueros o nadadores de agua, son de tamaño mediano a grande, cuerpo en forma de cuña con un lado dorsal, sus patas delanteras no rapaces y patas traseras en forma de remo, así como ojos grandes y se caracterizan por ser nadadores traseros (Andersen y Weir, 2004). Esta familia generalmente se encuentran en ambientes acuáticos relativamente tranquilos, como lagos, estanques, charcas, arroyos, sin embargo, suelen estar ausentes en estanques con alta diversidad de peces (Nieser, 2014; Polhemus y Polhemus, 1988). Su alimentación se basa de distintos artrópodos acuáticos y de vertebrados pequeños (Polhemus y Polhemus, 1988).

La utilización de esta familia como bioindicador se debe a su alta tolerancia y acumulación de metales pesados como Zn, Cd, Cu, Co, Pb y Ni (Ahmed y El Shenawy, 2001; Hassan y col.,

2017), así como niveles altos de materia orgánica, trihalometanos (compuestos formados por la reacción del cloro y materia orgánica) (Beré y col., 2016; Hassan y col., 2017), pH y salinidad (González Santoyo y col., 2020), además de soportar bajos niveles de oxígeno disuelto (Beré y col., 2016). Por tal motivo Notonectidae se considera como un buen indicador de cuerpos de agua de calidad mala (Beré y col., 2016; Hassan y col., 2017; Magagula y col., 2010).

La familia Stratiomyidae son moscas soldados de tamaño pequeño a mediano, en etapa adulta su forma, tamaño y color suele variar, el color suele ser entre marrón opaco a negro, de negro a amarillo contrastante, rojo, naranja, azul y verde metálico. Las larvas son anchas y poco aplanadas dorsoventralmente, suelen encontrarse en diferentes sustratos como de materia orgánica en descomposición, nidos de hormigas, bajo la corteza, agua estancada o de movimiento lento.(Fachin y Pujol Luz, 2016; Hauser, 2008; Pitalugade Godoi y Pujol Luz, 2018; Woodley, 1989). Además pueden habitar cuerpos de agua contaminados por metales pesados como Pb, Ni, Br, Hg, Cr, Cd, entre otros (Cai y col., 2018), así como en sitios de alta concentración de coliformes fecales, sustancias orgánicas y elevada demanda química de oxígeno (Olivares Calzado y col., 2012). Sin embargo, es posible encontrarlo en cuerpos de agua de buena calidad (Colla y col., 2013), además es utilizado en la remediación de cuerpos de agua debido a que disminuye los niveles de la demanda química de oxígeno (Doelle y Udegbunam, 2021).

Dentro del grupo Crustácea está la familia Cambaridae la cual está conformada por cangrejos del río de agua dulce, poseen un cuerpo con una cabeza con cinco segmentos y un tronco postcefálico que suele estar dividido en tórax y abdomen, además de un caparazón. Estos pueden habitar en zonas como arroyos, estanques, lagos y ríos grandes (Álvarez y col., 2014; Crandall y Buhay, 2008). Esta familia posee una tolerancia reducida a ciertos contaminantes como lo puede ser la materia orgánica, fósforo, nitrógeno y metales pesados como Pb, Cd y Cu, además de una ligera acidez en el agua (Angeler y col., 2001; Gallaway y Hummon, 1991; Mancilla-Villa y col., 2022; Marenkov y col., 2017; Shafshar y col., 2001). Su tolerancia a la materia orgánica se debe a su tipo de alimentación basada principalmente en estas sustancias(Angeler y col., 2001; Choi y col., 2021) pero su tolerancia a los metales pesados antes mencionados es más relativa ya que pueden bioacumularlos y en el caso del Cu desintoxicarse de este, sin embargo si los niveles de estos aumentan la tasa de mortalidad se incrementa (Shafshar y col., 2001; Sherba y col., 2000).

Por otro lado, el grupo Mollusca se encuentra la familia Physidae, está formada por los caracoles de agua dulce con una distribución holártica con extensiones en todo el continente americano, habita zanjas, estanques, lagos, pequeños arroyos y ríos (Taylor, 2003). Se caracterizan por poseer un caparazón enrollado hacia la izquierda, alto en forma de espiral, tiene una rádula con dientes en filas compuestas en V, sangre clara, carente de hemoglobina. Su alimentación se basa en sedimentos del fondo marino, hortalizas, etc. (Thorp y Rogers, 2016; Wethington, 2004).

Esta familia suele utilizarse para manejar ambientes hostiles incluso en ambientes contaminados (Wethington, 2004). Esta familia se asocia directamente a cuerpos de agua con altos niveles de contaminación orgánica, poco oxígeno disuelto y eutrofizados (Berisa y col., 2019; González y col., 2011; Kahirun y col., 2019), y su empleo como un indicador de la calidad del agua radica en que es un organismo tolerante a una amplia gama de perturbaciones entre ellos el aumento de la salinidad, la temperatura (Zukowski y Walker, 2009), el pH y la contaminación por metales pesados como lo es el Ni, Cd, As, Hg, entre otros (Beasley y Kneale, 2003; Komolafe y col., 2014), provenientes de la industria y la urbanización (Mamert y col., 2016; Serafiński y col., 1989).

Dentro del grupo de Annelida se tiene a la familia Glossiphoniidae que incluye a las sanguijuelas de agua dulce, presentan un cuerpo aplanado generalmente y poseen una ventosa anterior poco definida. Estos organismos generalmente chupan la sangre de los vertebrados que habitan en cuerpos de agua dulce por ejemplo, anfibios, cocodrilos y tortugas, incluso algunas se alimentan de caracoles de agua dulce o de algunos anélidos (Kutschera, 1988; Kutschera y col., 2013). Esta familia de macroinvertebrados casi siempre se relaciona con cuerpos de agua con altos niveles de contaminación aunque también se le ha registrado en aguas de buena calidad (Correa y col., 2014; Olarte Durán y González Suarez, 2018).

Su papel como un biomonitor de la calidad del agua viene dada por su amplia gama de tolerancias ya que estos organismos son tolerantes a concentraciones elevadas de metales pesados como el Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, As, Se y el Cd (Chiba y col., 2011; Pastorino y col., 2020), son tolerantes a altos niveles de fosfatos, nitratos, sólidos totales sólidos disueltos, materia orgánica en descomposición y a concentraciones bajas de oxígeno disuelto así como a la acidez, salinidad y a los pesticidas organofosforados (Correa y col., 2014; Lapkina y Arkhipova, 2000; Rivera Usme, 2011; Soedarmanto y Setiawati, 2020; Spyra y Krodkiewska, 2014; Suheriyanto y col., 2012), por

lo cual obtiene una puntuación de 3 en el BMWP que pertenece a los organismos de mala calidad del agua y muy tolerantes (Pineda-López y col., 2014)

Por el otro lado, en el grupo de las aves se tienen a dos especies *Anas platyrhynchos diazi* y *Fulica americana*, la primera de ellas también conocida como pato de collar, ánade azulón, pato triguero o ánade real es una especie de ave anseriforme de la familia Anatidae, es endémica de México. El macho se caracteriza por tener una coloración café grisáceo y un pico verde amarillento, sin marcas, por otro lado la hembra posee un pico amarillo naranja a olivo y posee un canal. Esta especie se distribuye principalmente en lagos, ríos o depósitos de agua con vegetación. Y se alimentan principalmente de plantas acuáticas, semillas, crustáceos, caracoles y larvas de insectos (CONABIO y enciclovida, s. f.; Mercado Reyes, 2012).

Esta especie de ave ha sido estudiada y empleada como un biomonitor del estado de los cuerpos de agua y aunque su presencia o ausencia en un cuerpo de agua no permite obtener mucha información se le ha propuesto como un indicador de los impactos de la actividad turística en los cuerpos de agua (Palacio-Núñez, y col., 2007). *Anas platyrhynchos diazi* es un pato con una alta sensibilidad a los metales pesados como el Mo, Cd, As, Mn y el Se ya que puede bioacumularlos y sufrir daño debido a estos, a dependencia de las concentraciones puede sufrir teratogénesis y daños principalmente en el crecimiento y peso del hígado (Cao y col., 2022; Hernández y col., 1999; Kitowski y col., 2017; Vega y col., 2011). Sumado a lo anterior este pato es sensible a los pesticidas y puede llegar a sufrir efectos subletales y letales a causa de ellos (Blas Huisa, 2018), sin embargo se les ha observado habitando cuerpos de agua eutrofizados adaptándose a la abundancia alimenticia (Hernández-Colina y col., 2018; Sepulveda-Jauregui y col., 2013).

La especie *Fulica americana* comúnmente conocida como gallareta americana, tiene una apariencia de pato, presenta un pico corto y grueso blanco; sus plumas son de color gris oscuro, con una mancha blanca debajo de la cola, estas aves son migratorias y suelen habitar aguas dulceacuícolas de poca profundidad como lagos, estanques, pantanos, etc., debido a que sus dedos son lobulados hacen posible que esta especie sea buena nadadora. Su alimentación se basa en pequeños animales acuáticos (peces o renacuajos), insectos, moluscos, vegetación acuática, entre otros (Bridgeman, 2003; Otero Durán, 2002).

Al igual que *Anas platyrhynchos diazi*, *Fúllica americana* es u pato que con su presencia o ausencia en un cuerpo de agua no permite estimar la calidad de este, sin embargo también ha sido

propuesta como un organismo indicador de los impactos de la actividad turística en los cuerpos de agua (Palacio-Núñez, y col., 2007). *F. americana* es un ave muy sensible a la bioacumulación de metales pesados entre los más importantes para esta especie se encuentran el Se y el Pb causando problemas hepáticos, de riñón, pérdida de peso, pérdida irregular de las plumas y lesiones histopatológicas (Burger y Gochfeld, 1996; Hassanpour y col., 2012; Hoffman, 2002). Aún con lo anterior a esta especie de pato se le ha observado habitando cuerpos de agua muy contaminados en México como lo son Xochimilco y Tecocomulco mismos que presentan contaminación por materia orgánica, nitritos, sulfatos, ortofosfatos y cloruros (López-Islas y col., 2016, 2017).

Finalmente, en el grupo de reptiles se tiene a la especie *Thamnophis cyrtopsis* también conocida como culebra de agua o abaniquillo, tiene una cabeza de color gris claro a gris oscuro y comisuras supralabiales color negro; detrás de las escamas parietales tiene una mancha negra; en el dorso tiene dos hileras de manchas negras redondeada. Su alimentación se basa en anfibios, algunos invertebrados, lombrices de tierra y reptiles (Blais y Binford-Walsh, 2020; Webb, 1980). Con base en su dieta y su estilo de vida *T. cyrtopsis* puede ser empleado como un indicador de la calidad ambiental aunque de la misma manera que las especies de aves para este trabajo se requieren de estudios histológicos y ecotoxicológicos para determinar su capacidad como un indicador de la calidad del agua.

6.3.2 *En campo*

Posterior a la revisión bibliográfica se procedió a realizar una colecta e identificación de los organismos bioindicadores de calidad de agua presentes en el sistema hídrico. La colecta se realizó siguiendo la metodología establecida y los organismos encontrados fueron clasificados según el sitio de estudio en el que se hallaron. de entre todos los organismos identificados se eligieron solo aquellos cuya presencia pudiera emplearse como un marcador de buena o mala calidad a continuación se comparó esta lista con los organismos reportados bibliográficamente y se obtuvieron los mismos, adicionando seis familias de macroinvertebrados: Belostomatidae, Pleidae, Gammaridae, Hydrobiidae, Valvatidae y Hirudinidae (Tabla 9).

Tabla 9: Lista complementaria de organismos bioindicadores de calidad del agua reportados en "El Charco del Ingenio"		
Tipo de organismo		Familia
Macroinvertebrados	Insecta	Belostomatidae
		Pleidae
	Crustácea	Gammaridae
	Mollusca	Hydrobiidae
		Valvatidae
	Annelida	Hirudinidae

Dentro del grupo de insectos, se encuentran la familia Belostomatidae y Pleidae, la primera de ellas también conocida como chinches gigantes, son animales acuáticos depredadores, poseen un par de patas que le sirven para capturar a sus presas, así como un pico en el aparato bucal el cual es insertado en las mismas inyectando enzimas letales; su alimentación se basa en distintos macroinvertebrados, así como anfibios, peces, entre otros, incluso pueden ser caníbales; suelen habitar cuerpos dulceacuícolas como marismas, campos de arroz, estanques, lagos y ríos (Cullen, 1969; Ohba, 2019; Treviño Rodríguez, 2022).

Su uso como un bioindicador en la calidad del agua está sustentado por su resistencia a la contaminación, esta familia es tolerante a metales pesados como Al, Cd, Cu, Zn, Fe y Mn (Corbi y col., 2011; Mmako y col., 2021; Nasirian y col., 2014; Sorour, 2001), así como a la salinidad, materia orgánica (Archna y col., 2015; Kefford y col., 2003; Ríos Touma y col., 2014) y altos valores en parámetros fisicoquímicos como el pH, la dureza, la demanda bioquímica de oxígeno y los coliformes fecales (Rico-Sánchez y col., 2014)

Por otro lado, la familia Pleidae pertenece al Orden Hemiptera, también conocidos como nadadores pigmeos o chinches de agua pálidas, se caracterizan por su forma fuertemente convexa, de color amarillo verdoso y de tamaño pequeño, poseen patas traseras con pelos largos para nadar, ojos pequeños y ocelos ausentes. Esta familia habita cuerpos de agua lénticos y con abundante maleza, su alimentación se basa en ostrácodos, dafnias y larvas de mosquitos principalmente (Andersen y Weir, 2004b; Hernández y Cook, 2008; Polhemus, 1988). Es tolerante a distintas concentraciones de contaminantes y parámetros fisicoquímicos en cuerpos de agua, por ejemplo es tolerante a las concentraciones moderadas de sólidos disueltos, fosfatos, nitratos, a la alta demanda

bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, contaminación orgánica y a la conductividad moderada (Hanafi, 2014; Harun y col., 2015; Muñoz-Riveaux y col., 2003; Silalom y col., 2010), así como a las concentraciones elevadas de metales pesados como Cu, Zn, Mn y Hg provenientes de las actividades antropogénicas como la minería (Mmako y col., 2021; Mohd Ishadi y col., 2014).

Dentro del grupo de Crustácea se encuentra la familia Gammaridae o gammaridos, poseen un cuerpo rechoncho y suelen encontrarse en cuerpos de agua salinos como dulceacuícolas, son de colores oscuros, y son pequeños; no poseen caparazón, en la cabeza tienen dos pares de antenas y ojos sésiles. Son bentónicos, su alimentación se basa principalmente de hojas detríticas en descomposición y se desarrollan mejor en sitios con colonización de microbios y hongos (Chaumot y col., 2015; García Madrigal, 2007; Glazier, 2009; Pageo, 2012).

Su utilización como bioindicador se basa en que esta familia habita principalmente cuerpos de agua limpias ya que no es tolerante a la contaminación (Pârvulescu y Hamchevici, 2010; Rono y col., 2018), sin embargo se ha encontrado en cuerpos de agua contaminados de origen antrópico o que son menos exigentes en cuanto a la calidad del agua, ya que no cumplen con los estándares fisicoquímicos establecidos como el oxígeno disuelto, sólidos disueltos, nitratos, demanda química de oxígeno, coliformes fecales, pH, entre otros (Abanto Guadamos, 2015; Clavijo Cevallos, 2017; Muñoz-Riveaux y col., 2003; Solà y col., 2004).

Por otra parte, el grupo de Mollusca cuenta con dos familias Hydrobiidae y Valvatidae, los caracoles de la familia Hydrobiidae se conocen como caracoles de primavera, son muy pequeños (aproximadamente miden de 1 a 10 mm de altura de la concha), la concha es enrollada dextralmente, planispiral a aciculada, con alrededor de 2 a 8 verticilos y presentan un opérculo; generalmente suelen habitar manantiales y aguas subterráneas y su alimentación se basa en detritus (Kabat y Hershler, 1993; Scarsbrook y col., 2007).

La familia Hydrobiidae es un grupo de organismos de gran adaptabilidad que han logrado colonizar cuerpos de agua muy diversos, esto debido a la tolerancia que tiene a múltiples factores fisicoquímicos y a las fluctuaciones de estos (Alonso y Castro Díez, 2008). De manera particular, se conoce que esta familia de macroinvertebrados es resistente a la contaminación de origen antropogénico, siendo tolerantes a la presencia anormal de compuestos nitrogenados en el agua, como lo son el amonio, nitratos y nitritos (Alonso y Camargo, 2003), además, de ser resistentes a la salinidad (Gérard y col., 2003), el fluoruro (Aguirre Sierra y col., 2011), los metales pesados

como el plomo o el zinc (Albaji y col., 2023; Olomukoro y Azubuiké, 2009), así como a la contaminación orgánica (Alonso y Camargo, 2013; Broekhuizen y col., 2001; Küçük, 2008).

Por otra parte, la familia Valvatidae está formada por pequeños caracoles prosobranquios acuáticos, tienen un opérculo multiespiral, son pequeños y tienen un caparazón poco variable, su protoconcha y rádula son relativamente uniformes; generalmente habitan cuerpos de agua dulces como lagos, humedales, ríos; su alimentación se basa en detritus principalmente (Animal Diversity Web, 2000; Anistratenko y col., 2010; Clewing y col., 2014). Esta familia se caracteriza por ser un bioindicador de mala calidad del agua debido a que se encuentra en sitios con contaminación urbana, agrícola, entre otros; así como en sitios con altos niveles de materia orgánica y eutrofizados (Aguilar y col., 2020; Kefford y col., 2003; Mi Hur y col., 1999). Asimismo son resistentes a algunos parámetros fisicoquímicos como el pH, oxígeno disuelto, benzofluoranteno, antraceno, flouranteno, entre otros (Beasley y Kneale, 2004) y es moderadamente tolerante a metales pesados como Zn, Cu, Pb, Cr, As, Cd, etc. (Kazanci y Dügel, 2010; Marković y col., 2014).

La familia Hirudinidae tienen el cuerpo aplanado y comúnmente es de color negro, marrón, verde o roja y suele tener rayas o manchas, además su cuerpo está segmentado; presentan dos ventosas en cada extremo de su cuerpo, con la finalidad de dar soporte y locomoción, generalmente son parásitos de distintos vertebrados ya que se alimentan de la sangre; estos organismos suelen habitar sitios de baja profundidad de clima cálido con poca flujo de corrientes (Cornejo y col., 2015; Fonseca Guerrero, 2016; Phillips y Siddall, 2009; Saglam y col., 2016).

La importancia de esta familia como bioindicador de la calidad del agua se basa en su presencia en aguas de mala calidad ya que suele encontrarse en sitios con elevados niveles de materia orgánica (Obinwanne Okoye y col., 2021; Peña y col., s. f.; Saglam y col., 2008), altas a moderadas concentraciones de metales pesados como Cu, Fe, Ni, Cd, Pb, Zn, etc., los cuales pueden bioacumular (Chernaya y col., 2018, 2019; Petrauskienė, 2008); además habita lugares con un alto grado de demanda de oxígeno, sólidos disueltos totales, conductividad, pH, entre otros (Obinwanne Okoye y col., 2021; Peña y col., s. f.).

De acuerdo con la información anterior, se identificó en cada área de zonificación la ubicación de cada organismo (Tabla 10). Registrando a dos peces (*Heterantria bimaculata* y *Poeciliopsis infans*), veinticuatro macroinvertebrados (diecisiete familias del grupo insecta, dos familias de Crustacea, tres familias de Mollusca y dos familias de Annelida), dos aves (*Anas*

platyrhynchos diazi y *Fulica americana*), un reptil (*Thamnophis cyrtopsis*) y dos plantas acuáticas (*Lemna gibba* y *Ludwigia peploides*).

Tabla 10: Lista de bioindicadores identificados en las áreas de zonificación.

Tipo de organismo	Familia/Especie	Zona					
		1	2	3	4	5	
Peces	<i>Heterantria bimaculata</i>	X	X	X	X		
	<i>Poeciliopsis infans</i>	X	X	X	X		
Plantas acuáticas	<i>Lemna gibba</i>	X	X				
	<i>Ludwigia peploides</i>	X	X				
Macroinvertebrados	Insecta	Familia Aeshnidae	X				X
		Familia Baetidae	X	X			
		Familia Belostomatidae	X	X			
		Familia Caenidae	X	X			
		Familia Ceratopogonidae	X			X	X
		Familia Chironomidae	X				
		Familia Coenagrionidae	X				
		Familia Corixidae	X	X	X	X	X
		Familia Culicidae	X				
		Familia Dytiscidae	X				
		Familia Gyrinidae	X				
		Familia Hydrophilidae	X				
		Familia Lestidae	X			X	X
		Familia Libellulidae	X				
		Familia Notonectidae	X				
	Familia Pleidae	X					
	Familia Stratiomyidae	X	X				
	Crustacea	Familia Cambaridae	X				X
		Familia Gammaridae	X	X		X	X
	Mollusca	Familia Hydrobiidae	X	X	X		X
		Familia Physidae	X				X
		Familia Valvatidae	X				X
	Annelida	Familia Glossiphoniidae	X				X
		Familia Hirudinidae	X				
	Aves	<i>Anas platyrhynchos diazi</i>	X	X	X	X	X
		<i>Fulica americana</i>	X	X	X	X	X
	Reptiles	<i>Thamnophis cyrtopsis</i>	X			X	

6.4 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA

Para los mismos puntos de muestreo de bioindicadores se obtuvieron cuatro parámetros fisicoquímicos (potencial de hidrogeno, milivoltios, milivoltios relativos y temperatura) utilizando un instrumento multiparamétrico HI98190 (Hanna Instruments), los resultados obtenidos (media) se muestran en la Tabla 11.

Zona	pH	mV	mV rel	Temp (°C)
1	7.4	-5.7	-5.6	13.9
2a	7.4	-7.7	-8.4	15.8
2b	8	-35	-35.2	21.8
3	8.4	-18.4	17.9	21.5
4	7.4	-9	-8.9	21
5a	7.8	-22.4	-22.3	18.5
5b	7.8	-22.8	-22.9	18.8

En la tabla anterior se puede observar que en la zona 1 tuvo un pH de 7.4, mV de -5.7 (mV relativo de -5.6) y una temperatura de 13.9°C; en la zona 2 se tuvo un pH de entre 7.4 y 8, mV de -7.7 a -35 (mV relativo de -8.4 a -35.2) y una temperatura de 15.8 a 21.8°C; para la zona 3 un pH de 7.4, mV de 18 (mV relativo de 17.2) y una temperatura de 15.8°C; en la zona 4 un pH de 7.4, mV de -9 (mV relativo de -8.9) y una temperatura de 21°C; y en la zona 5 un pH de 7.8, mV de -22.4 a -22.8 (mV relativo de -22.3 a -22.9) y una temperatura de entre 18.5 a 18.8°C.

Con base en los datos anteriores se calculó el potencial Redox del humedal. De manera general el Potencial de Oxido Reducción (ORP, por sus siglas en inglés Oxidation-Reduction Potential), también conocido como RedOX, sirve para monitorear y controlar reacciones químicas. Su unidad de medida son los miliVolts (mV). Estas reacciones se basan en la transferencia de electrones de un átomo, ión o molécula de una disolución, y existen dos reacciones en donde se oxida o se reduce, la primera de esas se basa en donde se pierde uno o más electrones y la segunda en ganar uno o más electrones, es decir, el reductor dona electrones y un oxidante recibe electrones. Por tanto, este indica si una solución tienen una carga eléctrica en equilibrio o no; si el potencial redox es 0 hay un equilibrio entre aniones y cationes, si el potencial redox es negativo hay una

reducción y si el potencial es positivo hay una oxidación (Albarrán Zavala, 2008; Bertran Prieto, 2020; Microlab Industrial, 2019).

En este trabajo se observa que los ambientes con mV más reductores se presentan en la zona 2b (-35), en la zona 5 (-22.8 a -22.4) y en la zona 3 (-18.4) esto posiblemente se deba a que son áreas con poco movimiento de agua particularmente en época de secas, además poseen muchos sedimentos. Las zonas con mV menos reducción son aquellas en donde hay movimiento de agua, como en la zona 1, debido a la presencia de la cortina de agua pues hay una fuerte oxigenación por la caída.

Por otra parte, el potencial redox tiene una relación con el pH ya que este indica el grado de acidez de una solución, ya que este mide la actividad de los protones, así que el pH depende de estos cuando reaccionan con el agua para generar iones hidronios (H_3O^+), ya que si hay una mayor concentración de hidronios, será más ácido; mientras que, a menor concentración de estos mayor iones hidroxilo (OH^-), es decir la solución será más alcalina (Bertran Prieto, 2020). Así que se hizo la relación del potencial redox y el pH de acuerdo con los datos obtenidos en el trabajo, ubicando al agua del humedal en ambiente como Reductor básico (Figura 7).

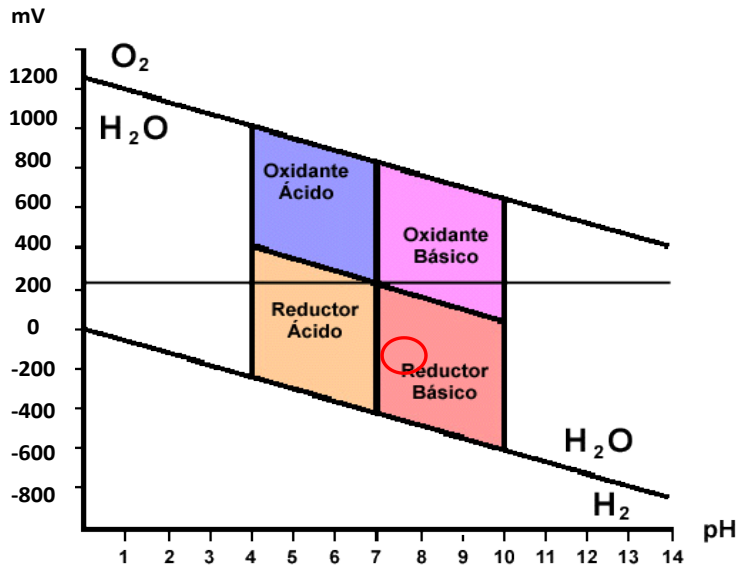


Figura 7: Representación gráfica de la relación entre el pH y los mV del humedal, ubicándolo en un ambiente Reductor Básico.

6.5 INDICE DE BMWP (BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY)

De los macroinvertebrados seleccionados durante los muestreos y la revisión bibliográfica se clasificaron y asignaron valores de acuerdo con el Índice BMWP modificado por Pineda-López y col., (2014) según su tolerancia a la contaminación orgánica con lo que se obtuvo la tabla 12.

Tabla 12: Familias de macroinvertebrados bioindicadoras y su valor de contaminación orgánica de acuerdo con el índice BMWP.			
Macroinvertebrados	Grupo	Familia	Valor de contaminación orgánica
	Insecta	Aeshnidae	8
		Baetidae	5
		Belostomatidae	4
		Caenidae	4
		Ceratopogonidae	4
		Chironomidae	2
		Coenagrionidae	4
		Corixidae	4
		Culicidae	2
		Dytiscidae	4
		Gyrinidae	4
		Hydrophilidae	3
		Lestidae	7
		Libellulidae	6
		Notonectidae	4
		Pleidae	4
		Stratiomyidae	4
	Crustacea	Cambaridae	5
		Gammaridae	7
	Mollusca	Hydrobiidae	3
		Physidae	3
		Valvatidae	3
	Annelida	Glossiphoniidae	3
Hirudinidae		3	
TOTAL		100	

Con los valores asignados a cada uno de los macroinvertebrados y efectuando la suma correspondiente de los mismos se obtuvo un valor de 100, de acuerdo con los rangos de la calidad de agua del Índice BMWP, el humedal presenta una calidad regular, con eutrofia y contaminación moderada (Tabla 13).

Rango de calidad del agua en el que se encuentra el humedal en marcado de color rojo de acuerdo con el índice BMWP.		
Nivel de calidad	BMWP	Color correspondiente
Aguas de calidad excelente.	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas.	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.	>15	Rojo

Posteriormente y bajo la misma metodología se clasificaron los macroinvertebrados por zonas de acuerdo con su presencia y abundancia con lo cual se obtuvieron cinco valores que se muestran la tabla 14.

De acuerdo con los rangos de la calidad de agua, mencionados anteriormente se tiene que para la Zona 1 (86), el agua tiene una calidad considerada como regular, con eutrofia y contaminación moderada; la Zona 2 y 5 (31 y 47, respectivamente), tienen una calidad de agua mala, con contaminación; la Zona 4 (22), tienen una calidad de agua mala, muy contaminada y finalmente la Zona 3(7), tiene una calidad de agua muy mala, extremadamente contaminada.

Como ya se mencionó, adicionalmente se registraron otras especies, mismas que se clasificaron de acuerdo con la zona en la que se les encontró, en la zona 1 se encontraron cuatro especies (una planta acuática, dos aves y un reptil); en la zona 2 se identificaron seis especies (dos plantas acuáticas, dos peces y dos aves); para la zona 3 se registraron cinco especies (una planta acuática, dos peces y dos aves); en la zona 4 se reportaron cuatro especies (dos peces y dos aves); y en la zona 5 se identificaron dos especies (dos aves). Siendo la zona 2 con más especies

localizadas, seguido de las zonas 3, 1 y 4 y finalmente la zona 5 con menor especies identificadas (Tabla 15).

Tabla 14: Valor de contaminación de cada familia de acuerdo con el IBMWP para cada zona.

	Grupo	Familia	Valor de contaminación orgánica					
			Valor	Zona				
				1	2	3	4	5
Macroinvertebrados	Insecta	Aeshnidae	8	8				8
		Baetidae	5	5				
		Belostomatidae	4	4	4			
		Caenidae	4	4	4			
		Ceratopogonidae	4	4			4	4
		Chironomidae	2	2				
		Coenagrionidae	4	4				
		Corixidae	4	4	4	4	4	4
		Culicidae	2	2				
		Dytiscidae	4	4				
		Gyrinidae	4	4				
		Hydrophilidae	3	3				
		Lestidae	7	7			7	7
		Libellulidae	6	6				
		Notonectidae	4	4				
		Pleidae	4	4				
		Stratiomyidae	4	4	4			
		Crustacea	Cambaridae	5				
	Gammaridae		7	7	7		7	7
	Mollusca	Hydrobiidae	3	3	3			3
		Physidae	3	3				3
		Valvatidae	3					3
Annelida	Glossiphoniidae	3					3	
	Hirudinidae	3	3					
		TOTAL	100	86	31	7	22	47

Tabla 15: Adición de especies registradas dentro del humedal, localizadas por zonas.

GRUPO	ESPECIE	ZONA				
		1	2	3	4	5
Plantas acuáticas	<i>Lemna gibba</i>	X	X			
	<i>Ludwigia peploides</i>		X	X		
Peces	<i>Heterantria bimaculata</i>		X	X	X	
	<i>Poeciliopsis infans</i>		X	X	X	
Reptiles	<i>Thamnophis cyrtopsis</i>	X				
Aves	<i>Anas platyrhynchos diazi</i>	X	X	X	X	X
	<i>Fulica americana</i>	X	X	X	X	X

De acuerdo con la información obtenida de los parámetros fisicoquímicos y sobreponiéndolos con los datos del Índice BMWP por zonas se obtuvo una relación de estas variables (Figura 8).

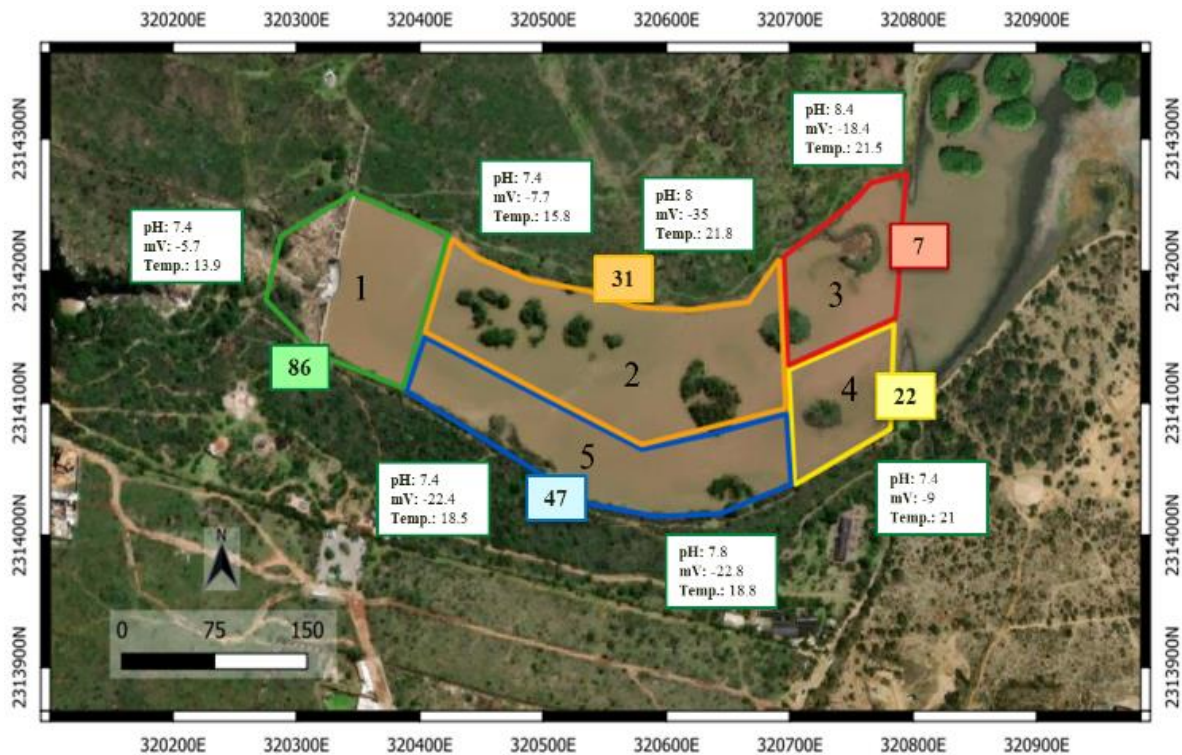


Figura 8: Intersección de los datos de las cinco zonas del humedal, como el valor total de contaminación orgánica de acuerdo con el índice BMWP y los parámetros fisicoquímicos.

En la imagen anterior se observa que la zona 3 tuvo la peor calidad de agua ya que registro un valor de 7 en contaminación orgánica, catalogándola como aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminada, con un pH de 8.4, una temperatura de 21.5°C y -18.4 de mV; seguida de las zonas 4 y 2 que obtuvieron un valor de 22 y 31, respectivamente de contaminación orgánica, indicando que son aguas de calidad mala, muy contaminadas, con un pH de 7.4 a 8, una temperatura de 15.8 a 21.8°C y -7.7 a -35 de mV; posteriormente la zona 5 presento aguas de calidad mala, contaminadas, con un valor de contaminación orgánica de 47, un pH de 7.4 a 7.8, una temperatura de 18.5 a 18.8°C y 22.4 a -22.8 mV; la zona que mejor calidad tuvo fue la 1 con un valor de contaminación orgánica de 86, siendo aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada con un pH de 7.4, una temperatura de 13.9 y -5.7 de mV.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el humedal dentro de El Charco del Ingenio presentó de manera general una calidad del agua a través del índice BMWP regular, con eutrofia y contaminación moderada. De forma particular se evaluó el cuerpo de agua por medio de cinco zonas de muestreo, siendo la zona 3 la de peor calidad teniendo un resultado de 7 para el índice BMWP, esta zona es la que más carece de organismo macroinvertebrados presentando únicamente a la familia Corixidae y la familia Hydrobiidae. Ambas familias de macroinvertebrados se caracterizan por ser tolerantes a diferentes variables fisicoquímicas, como lo son la salinidad, los elementos nitrogenados, materia orgánica, así como metales pesados (Aydoğan y col., 2016, 2018; Botella Cruz y col., 2016; Collins y Fahrig, 2020; Fikáček y col., 2010; Golovatyuk y Shitikov, 2016; Savage, 1990; Solà y col., 2004).

Estos organismos suelen habitar cuerpos de agua con vegetación acuática que les permita su desarrollo (Benisch, 2022; Contreras Rivero y col., 1999), lo cual refuerza la presencia de *Ludwinia peploides* en la zona (Salawu y col., 2018), misma que juega un papel ecológico importante para los peces *H. bimaculata* y *P. infans* mismos que han sido observados dentro del humedal y en cuerpos de agua contaminados por metales pesados, sustancias de origen industrial y materia orgánica (Carbajal-Becerra y col., 2020; Cervantes Cocom y Chan Ceh, 2011; de la Lanza Espino, 2000b; Lyons y col., 2000). Con lo que la contaminación de esta zona se puede deducir a través de la presencia de estos organismos.

Para el área 3 de estudio los parámetros fisicoquímicos de pH, potencial redox y la temperatura la posicionan como un entorno reductor ligeramente alcalino, esto provocado

posiblemente por las concentraciones elevadas de materia orgánica y sustancias de origen industrial producto de los escurrimientos que decantan en esta zona proveniente de la urbe de los alrededores (Domenech y col., 2001; Espinosa y col., 2011; Oliva González y col., 2008).

Por otro lado, las zonas 2 y 4 con valores para el índice BMWP de 31 y 22 respectivamente se encuentran catalogadas en aguas de calidad mala y muy contaminadas, en estas se registró la presencia de organismos de la familia Corixidae y Gammaridae en ambos sitios mientras que, la familia Baetidae, Belostomatidae, Caenidae, Stratiomyidae e Hydrobiidae se encontraron en la zona 2 y las familias Ceratopogonidae y Lestidae se encontraron en la zona 4. De acuerdo con la relación del pH, el potencial redox y la temperatura las zonas 2 y 4 fueron ubicadas en ambientes reductores ligeramente alcalinos, esto puede deberse a los niveles altos de la materia orgánica aunado al lento flujo del agua.

Estas familias de macroinvertebrados comparten la característica de ser en cierto modo tolerantes a concentraciones variables de contaminantes en cuerpos de agua de diversos orígenes, con lo cual se puede proponer que la calidad del agua ciertamente entra en la catalogación de mala, esta idea se refuerza gracias a que en ambas zonas se reportó la presencia de *H. bimaculata* y *P. infans* mismas que como ya se mencionó son tolerantes a la contaminación. De manera particular, *L. peplodes* y *L. gibba* se reportaron en la zona 2 estas han demostrado ser tolerantes a contaminantes de origen industrial y han sido utilizadas como fitorremediadores de cuerpos de agua debido a su capacidad para bioacumular contaminantes (Bres y col., 2012; Caviedes Rubio y col., 2016; Hegazy y col., 2017; Salawu y col., 2018).

Las familias que se encontraron en la zona 2 son indicadoras de una mala calidad del agua, ya que son muy tolerantes o tolerantes a ciertas concentraciones de materia orgánica, metales pesados, salinidad, pH alto, entre otros (Albaji y col., 2023; Alonso y Camargo, 2013; Broekhuizen y col., 2001; Gérard y col., 2003; Olomukoro y Azubuike, 2009). Así como la familia Corixidae la cual es tolerante a concentraciones moderadas a elevadas de salinidad, elementos nitrogenados, materia orgánica y metales pesados (Cierninski y Flake, 1995, 1995; Golovatyuk y Shitikov, 2016; Savage, 1990; Solà y col., 2004). Junto con la familia Ceratopogonidae que tolera la materia orgánica, metales pesados y sales (Bouchelouche y col., 2021; Couceiro y col., 2007; Mullens y Luhring, 1996; 2000).

La mayoría de las familias que se encontraron en este sitio son indicadoras de una mala calidad de agua, no obstante, se encontraron familias que son sensibles a la contaminación como lo son la familia Lestidae y Gammaridae que habitan cuerpos de agua de buena calidad, estas familias tienen poca tolerancia a altas concentraciones de metales pesados, pesticidas, pH, sólidos disueltos, entre otros, sin embargo tienen una moderada resistencia a niveles altos de materia orgánica (Abanto Guadamos, 2015; Beré y col., 2016; Clavijo Cevallos, 2017; Galindo-Pérez y col., 2017; Muñoz-Riveaux y col., 2003; Rudolhf, 1978; Solà y col., 2004). La presencia de estas últimas dos familias se puede deber a su función ecológica del humedal como filtrador de algunos contaminantes generando la posibilidad del establecimiento de estas familias.

Aunado a lo anterior y tomando en cuenta las distintas especies que se encuentran dentro del humedal como *Lenma gibba* y *Ludwinia peplloides* que han demostrado ser tolerantes a bajas-moderadas y moderadas-altas concentraciones de metales pesados y sustancias de origen industrial, confiriéndoles ventaja sobre otras especies de plantas acuáticas como proliferar y colonizar cuerpos de agua con estas condiciones. Además, estas especies tienen una capacidad de biorremediar cuerpos de agua por lo que es capaz de mejorar las condiciones del lugar (Auguet y col., 2017; Fernández San Juan y col., 2018; Hegazy y col., 2017; Megateli y col., 2009; Morales y col., 2006; Salawu y col., 2018; Xing y col., 2020).

Por otra parte, en la zona 5 con valores del índice BMWP de 47, catalogada con aguas de calidad mala, contaminada, se encontraron a las familias de macroinvertebrados a Aeshnidae, Ceratopogonidae, Corixidae, Lestidae y Gammaridae, junto con las aves *Anas platyrhynchos diazi* y a *Fulica americana* las cuales en algunos estudios se ha mencionado que son relativamente sensibles a metales pesados y pesticidas (Blas Huisa, 2018; Burger y Gochfeld, 1996; Cao y col., 2022; Hassanpour y col., 2012; Hernández y col., 1999; Hoffman, 2002; Kitowski y col., 2017; Vega y col., 2011).

De las familias encontradas en la zona 5 que indican una mala calidad del agua son Ceratopogonidae y Corixidae estas toleran altas concentraciones de salinidad, elementos nitrogenados, materia orgánica y metales pesados (Bouchelouche y col., 2021; Cieminski y Flake, 1995; Couceiro y col., 2007; Golovatyuk y Shitikov, 2016; Savage, 1990; Schmidtman y col., 2000; Solà y col., 2004). Por otro lado, las familias Aeshnidae, Lestidae y Gammaridae generalmente habitan cuerpos de agua con buena calidad pues son susceptibles a niveles altos de

contaminación orgánica, metales pesados, pesticidas, pH alto, entre otros (Abanto Guadamos, 2015; Beré y col., 2016; Clavijo Cevallos, 2017; Galindo-Pérez y col., 2017; Pineda-López y col., 2014; Solà y col., 2004; Udagedara y Kularatne, 2015). Sin embargo se han tenido registros de que toleran y acumulan relativamente metales pesados como la familia Aeshnidae (Goodyear y McNeill, 1999; Oguma y Klerks, 2020; Wolfe y col., 2018). De manera particular la familia Gammaridae y Lestidae son organismos sensibles a la contaminación sin embargo se ha reportado su presencia en cuerpos de agua que los estándares establecidos para los parámetros fisicoquímicos (Abanto Guadamos, 2015; Clavijo Cevallos, 2017; Dorji y Nidup, 2020; Labajo Villantes y Nuñez, 2015; Muñoz-Riveaux et al., 2003; Solà et al., 2004).

Al igual que en las zonas 2, 3 y 4 la zona 5 presenta a través de sus variables fisicoquímicas un ambiente reductor ligeramente alcalino que puede correlacionarse con los niveles elevados de agentes reductores en el agua provenientes de la contaminación de origen antropogénico.

Finalmente, el área de mejor valor de acuerdo con el índice BMWP fue la zona 1 (86) catalogada como aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada, siendo su pH de 7.4, -5.7 mV y su temperatura de 13.9°C, lo que convierte a esta zona en la menos reductora, lo cual se podría asociar con una menor tasa de contaminación.

En esta zona se encontraron a las familias Aeshnidae, Lestidae, Gammaridae y Libellulidae las cuales en su mayoría su presencia representa cuerpos de agua de muy buena a buena calidad debido a que tienen baja o moderada tolerancia a niveles altos de salinidad, materia orgánica, metales pesados, pH, eutrofización (Abanto Guadamos, 2015; Beré y col., 2016; Clavijo Cevallos, 2017; Corbi y col., 2011; Galindo-Pérez y col., 2017; Marín Ortega, 2018; Oguma y Klerks, 2020; Pineda-López y col., 2014; Tollett y col., 2009; Udagedara y Kularatne, 2015; Yoon y col., 2010).

Asimismo, se encontraron a las familias Baetidae, Cambaridae, Belostomatidae, Caenidae, Ceratopogonidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dytiscidae, Gyrimidae, Notonectidae, Pleidae y Stratiomyidae las cuales son indicadoras de una calidad de agua regular a mala ya que suelen tolerar moderadamente niveles de materia orgánica, metales pesados, salinidad, elementos nitrogenados, etc. (Ahmed y El Shenawy, 2001; Beketov, 2002; Beré y col., 2016; Bouchelouche y col., 2021; Cai y col., 2018; Collins y Fahrig, 2020; Corbi y col., 2011; Córdova y col., 2009; Flowers y de la Rosa, 2010; Golovatyuk y Shitikov, 2016; Hanafi, 2014; Hassan y col., 2017; Mancilla-Villa y col., 2022; Marenkov y col., 2017; Mbaka y col., 2015; Mmako y col., 2021; Nasirian, 2014;

Patarasiriwong, 2000; Rico-Sánchez y col., 2014; Rowe, 2014; Shafshar y col., 2001; Williams y Williams, 1998). No obstante, estas familias pueden tener otro funcionamiento dentro del humedal por ejemplo la familia Notonectidae bioacumula metales pesados (Ahmed y El Shenawy, 2001) ayudando en la desintoxicación del agua. O la familia Stratiomyidae que disminuye la demanda química de oxígeno (Doelle y Udegbunam, 2021).

Por otra parte, la presencia de las familias Hydrophilidae, Hydrobiidae, Physidae, Valvatidae, Glossiphoniidae, Hirudinidae, Chironomidae y Culicidae indican aguas de mala y muy mala calidad, ya que son tolerantes o muy tolerantes a metales pesados, materia orgánica, salinidad, elementos nitrogenados, alto pH, oxígeno disuelto, acidez, sólidos disueltos totales, conductividad, amoníaco, entre otros (Arribas y col., 2014; Aydoğan y col., 2016, 2018; Beasley y Kneale, 2003, 2004; Berisa y col., 2019; Chernaya y col., 2018, 2019; Correa y col., 2014; Fikáček y col., 2010; Kahirun y col., 2019; Kazanci y Dügel, 2010; Kefford y col., 2003; Lapkina y Arkhipova, 2000; Latha y Gnana Thanga, 2010; Marković y col., 2014; Obinwanne Okoye y col., 2021; Peña y col., s. f.; Rico-Sánchez y col., 2021; Soedarmanto y Setiawati, 2020; Spyra y Krodkiewska, 2014; Tollett y col., 2009; Wakefield, 2017; Zukowski y Walker, 2009). La abundancia de especies puede estar relacionada con el flujo del agua ya que esta se encuentra en la cascada con lo que se aumenta la oxigenación del agua y permite el desarrollo de más organismos, aunado a un posible efecto migratorio de una zona a otra por parte de las especies.

6.6. INDICES DE SIMILITUD

Para este trabajo se utilizó el índice de similitud de Jaccard debido a su fácil empleo e interpretación de datos para determinar la semejanza entre las zonas de estudio, con la finalidad de conocer mejor la distribución espacial de los organismos y poder analizar de forma eficiente los resultados obtenidos, para este estudio se utilizan los datos de presencia/ausencia en las cinco zonas de muestreo.

Los Índices de similitud/disimilitud, expresan el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas, por lo que son una medida inversa de la diversidad beta, que se refiere al cambio de especies entre dos muestras. A partir de un valor de similitud (s) se puede calcular fácilmente la disimilitud (d) entre las muestras: $d=1-s$ (Magurran, 1988). Estos

índices pueden obtenerse con base en datos cualitativos o cuantitativos, o a través de métodos de ordenación o clasificación de las comunidades (Moreno, 2001; Plamen y col., 1995).

El Coeficiente de Similitud de Jaccard indica que tan similares o disímiles son dos comunidades o muestras muchas, se expresan a través de distancias, relacionando el número de especies compartidas con el número total de especies exclusivas, el rango de este índice va desde 0 cuando no hay especies compartidas, hasta 1 cuando todos los sitios comparten las mismas especies, este índice mide diferencias entre presencia o ausencia de especies (Moreno, 2001; Villarreal y col., 2006).

$$I_{Jaccard} = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

a = número de especies presentes en el sitio A.

b = número de especies presentes en el sitio B.

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B.

Para la zona se realizaron dos análisis, el primero utilizando únicamente a las especies de macroinvertebrados, y un segundo análisis con todas las especies registradas. Del análisis de macroinvertebrados se obtuvo la Figura 9, en el cual se observa que se forman tres grupos, el primero formado por los sitios 4 y 5, el segundo por los sitios 1 y 2 y el tercero nos muestra únicamente al sitio tres. A pesar de que se forman estos grupos la similitud es baja, menor a 0.5, siendo que los sitios más semejantes serían en 4 y 5, y el más disímil el sitio 3.

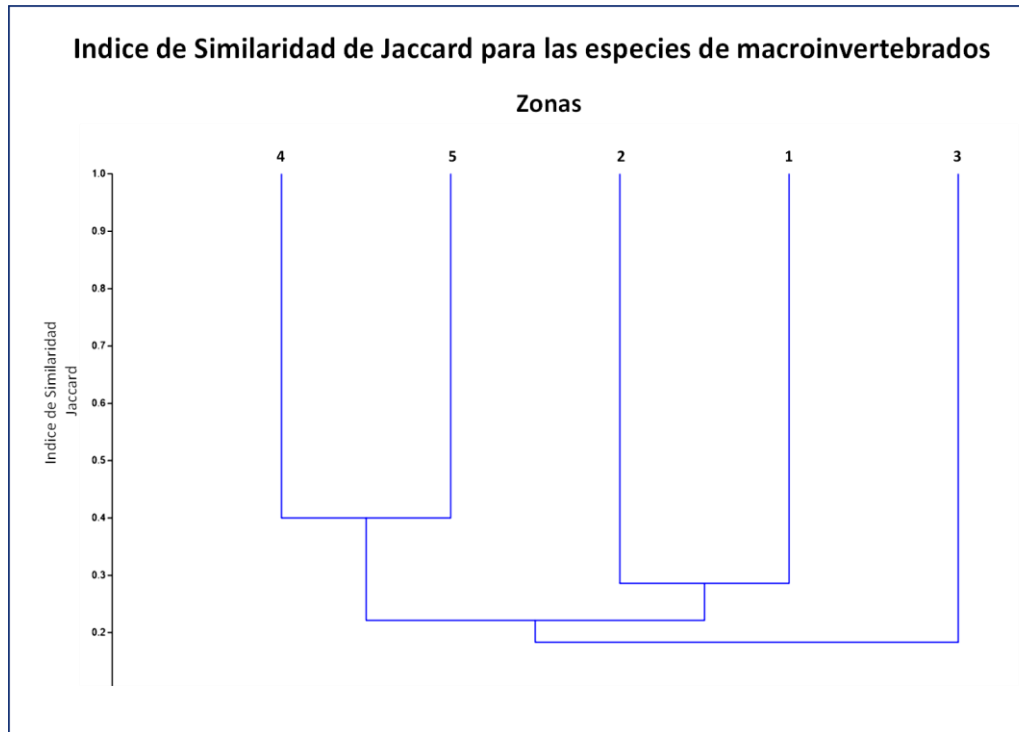


Figura 9: Dendrograma para macroinvertebrados registrados dentro del humedal.

Por otro lado, el análisis que se hizo con todas las especies registradas se obtuvo la Figura 10, en donde se visualiza que se forman cuatro grupos, el primero formado por los sitios 2 y 3, el segundo por el sitio 4, el tercero por el grupo 5 y el último por el sitio 1. Al utilizar las especies de vertebrados, encontramos que el índice de similitud se incrementa, principalmente para los sitios 2 y 3, esto principalmente por la presencia de la planta *Lemna gibba* y de las aves *Anas platyrhynchos diazii* y *Fulica americana*, se considera que en esta zona se tiene más alimento para estas especies y además es una zona más aislada en donde las personas no son frecuentes. En la zona 1 su separación es debido a la presencia de *Thamnophis cyrtopsis*, y el resto de las zonas comparte a las especies de peces y la planta *Ludwigia peploides*.

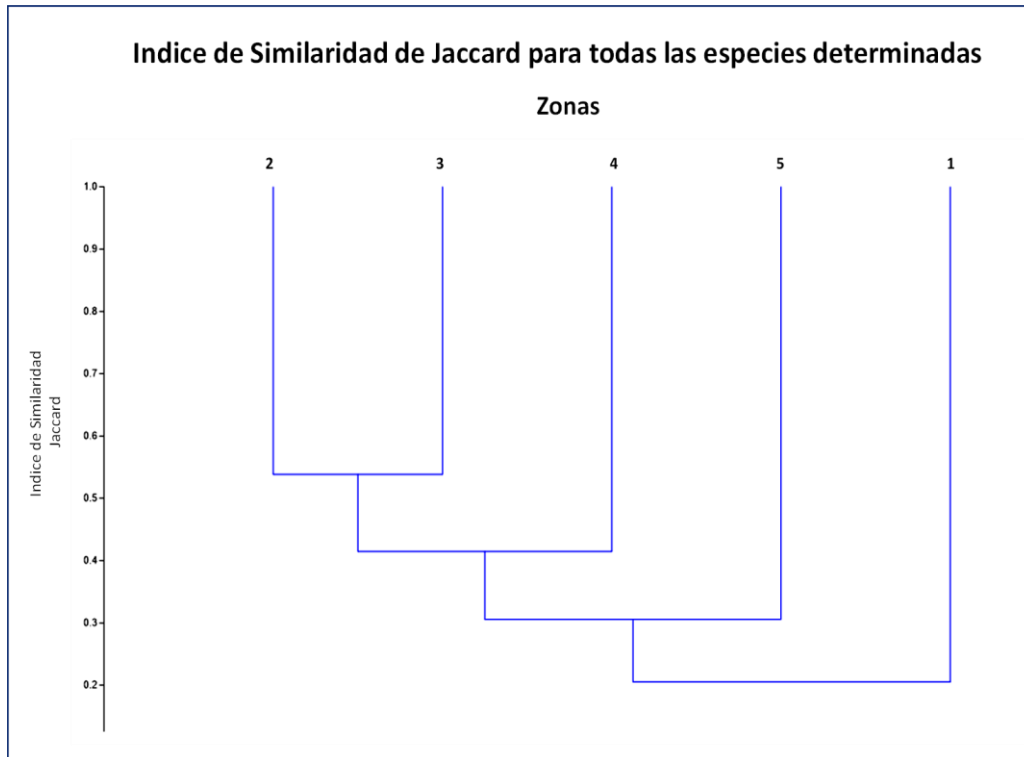


Figura 10: Dendrograma para todas las especies registradas dentro del humedal.

En el trabajo realizado por Salas Rodríguez (2020), también se calculó el Coeficiente de Similitud de Jaccard para determinar cuáles eran los puntos de presencia que comparten un mayor número de especies. Se obtuvo un valor de 0.7873 para el total de puntos, las áreas que tienen una mayor similitud son la 3, 4 y 5, los cuales se encuentran más alejados de la afluencia de visitantes dentro de El Charco del Ingenio, además se pudieron apreciar diferentes islotes que brindan protección a las aves. Respecto al grupo conformado por las áreas 2 y 1 son los puntos más cercanos a la cortina de agua de la presa. En la Figura 11 y la tabla 16 se representan los 7 puntos de muestreo que se hicieron en este estudio, mostrando una tabla de correspondencia con las áreas establecidas para el presente estudio.

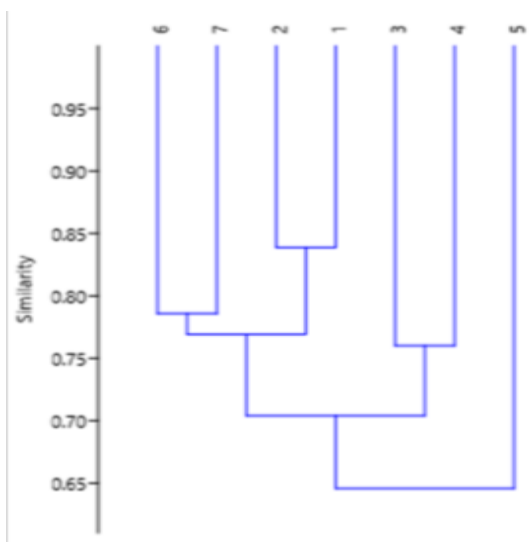


Figura 11: Dendrograma de las zonas de muestreo del proyecto comparado con el trabajo de Salas Rodríguez (2020),

Tabla 16: Comparación entre las zonas del estudio y las zonas del estudio de Salas Rodríguez (2020) del humedal.

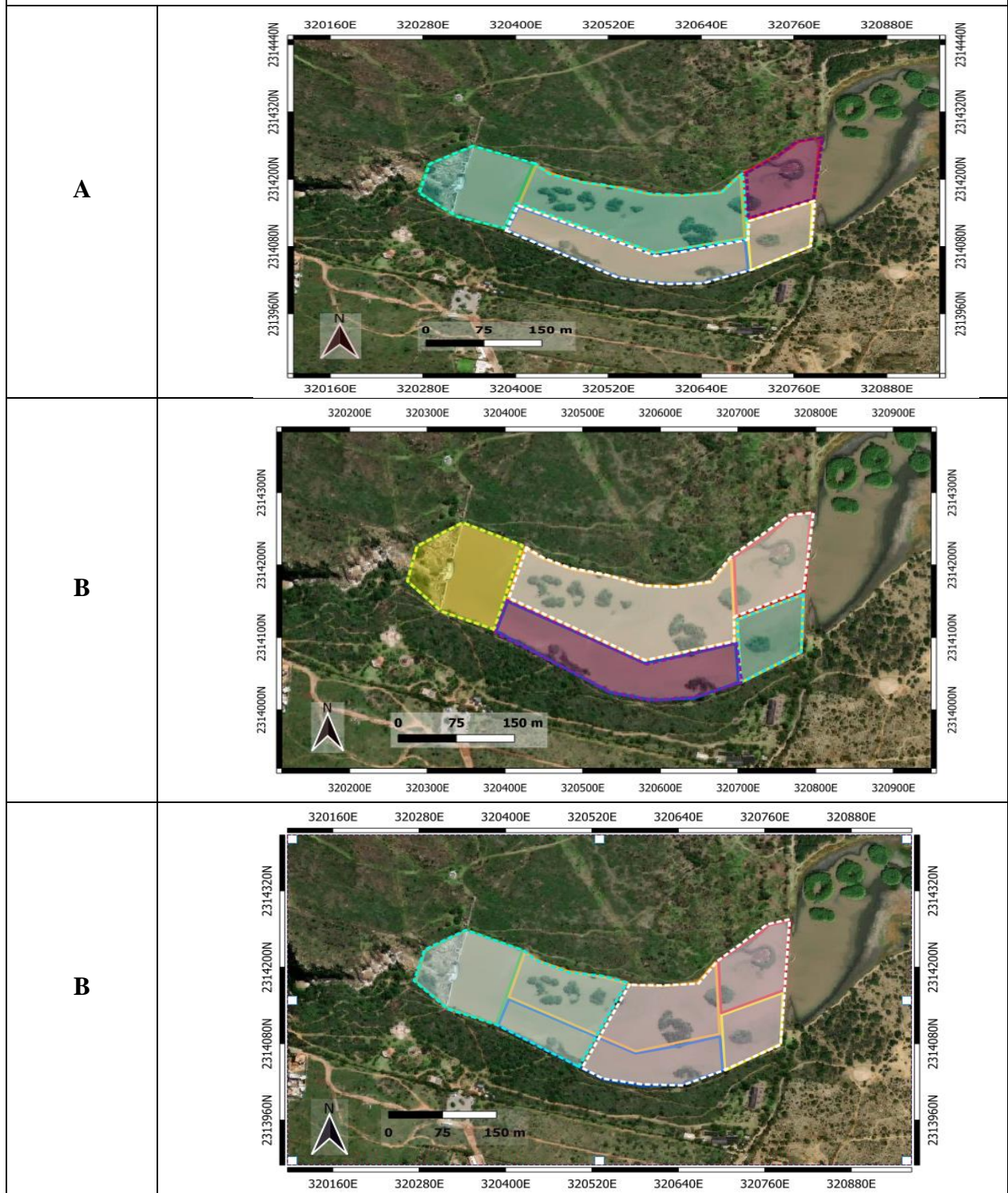
Zona determinada en el presente estudio.	Puntos de muestreo en trabajo de Salas Rodríguez (2020).
1	3, 4
2	2 y parcialmente 3
3	1 y parcialmente 2
4	6 y 7
5	5 y parcialmente 4

Efectuando una comparación grafica de los tres índices de similitud (Tabla 17) se tiene que las áreas que presentan una clara similitud entre ellas son la 1 y 2; y se podrían agrupar las zonas 3,4 y 5 como las de menor similitud, aunque como ya se mencionó pueden tener similitud entre ellas dependiendo de los grupos que se manejen.

Muchas de las especies de aves acuáticas tienen su sitio de anidación en las zonas con mayor cobertura de vegetación (zona 2, 3, 4 y 5) por lo que pasan su tiempo mayoritariamente en estas zonas, en los meses de febrero y marzo se observa gran cantidad de juveniles en estas áreas. Asimismo la distribución de las especies también podría deberse a la disponibilidad de alimento, considerando en general a los invertebrados, actualmente se están realizando estudios para determinar la diversidad, abundancia y distribución de estos en la zona.

Se observa que la mayor cantidad de invertebrados se tiene en la zona 1, pero la cortina de la Presa funcionaria como un obstáculo para muchas de las especies que están en la Presa, en esa área se tiene que la mayor cantidad de invertebrados de tienen en las zonas 2, 4 y 5 y en menor proporción en la zona 3.

Tabla 17: Índices de Similitud de Jaccard para Macroinvertebrados (A), todas las especies registradas (B) y para aves acuáticas (C). Con líneas blancas se muestran las zonas con más similitud, con azul una similitud media alta, con morado una similitud media baja y con amarillo la similitud más baja.



Correlacionando los datos de similitud para cada zona y las características de la calidad de agua que se mencionaron anteriormente se tiene que precisamente la zona 3 que es la que tiene la peor calidad de agua, es también la más alejada con respecto al Índice de Jaccard, esta es una zona que concentra el agua que proviene del Parque Landeta y de las zonas urbanas e industriales, tiene una gran cantidad de sedimentos y es el sitio donde se localiza en mayor cantidad una especie de ave exótica conocida como *Bubulcus ibis* (Salas Rodríguez, 2020), que al pernoctar en el sitio, lo contamina fuertemente con sus heces.

Con respecto a la zona 1 y las colindancias con la zona 2, se tiene una mejor calidad de agua, que puede ser atribuida a varios factores, y que a manera de hipótesis se puede bosquejar que el humedal de alguna manera ha depurado el agua y que al caer el agua por la cortina de la presa se ha oxigenado y permite la vida a un mayor número de especies; pero es necesario hacer estudios más específicos que permitan probar esta hipótesis.

El resto de las zonas tienen una calidad de agua mala, mejorando hacia los límites con la cortina de la presa y empeorando hacia los límites con el Parque Landeta. En estas mismas zonas los indicadores que mejor reflejan la condición son los macroinvertebrados, y las aves, ambos manejados de forma independiente.

Finalmente debemos mencionar un aspecto relevante de la zona y es la conectividad ecológica que brinda, ya que es un eslabón que permite vincular los hábitats correspondientes a los matorrales xerófilos con las especies migrantes, tanto de las zonas terrestres como de los humedales, ya que en la zona circundante se han presentado procesos relacionados con cambios de uso del suelo, desarrollo de infraestructura viaria, procesos de deforestación, intensificación agrícola y ganadera, y la expansión urbanística (Salas Rodríguez, 2020).

VII. CONCLUSIONES

El sistema hídrico estudiado incluye a la presa Las Colonias que retiene las aguas estacionales manteniéndolas casi hasta el final de la temporada de sequía, asegurando el hábitat y disponibilidad del recurso hídrico para una amplia gama de especies de flora y fauna locales y de especies migratorias proveyendo zonas de protección y anidación. Sin embargo, el sistema acuático sufre variaciones que dependen de las precipitaciones convirtiéndolo en un sistema acuático homogéneo durante los períodos lluviosos y diferencial en estaciones secas.

En este trabajo se utilizaron y registraron veinticuatro macroinvertebrados (diecisiete familias de insectos, dos de crustáceos, tres de moluscos y dos de anélidos), dos peces, dos aves acuáticas, un reptil y dos plantas acuáticas, los cuales se consideraron como posibles indicadores biológicos de la calidad del agua para el humedal.

Los organismos indicadores de la calidad del agua han demostrado ser una herramienta fiable para la determinación y el monitoreo del estado de un cuerpo de agua, permitiendo obtener variables adicionales a las pruebas fisicoquímicas o como un elemento aislado que permite pronosticar la calidad del recurso hídrico.

Con la información recopilada se considera que los macroinvertebrados representan adecuadamente las condiciones ambientales del humedal. Ya que resultan ser buenos bioindicadores por su amplia distribución, movilidad limitada, fácil recolección, abundancia numérica, alta sensibilidad a distintas condiciones ambientales o factores estresantes y los datos obtenidos a través de estos son relativamente fáciles de cuantificar y estandarizar.

La calidad del agua de acuerdo con los valores del índice BMWP para el humedal fue agua de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada con un valor de 86 puntos. Esta calidad se puede deber a los distintos contaminantes de origen industrial, ganadero, agrícola y urbano que llegan mediante los escurrimientos que decantan en el cuerpo de agua y que afectan la supervivencia de los organismos con lo cual solamente aquellos tolerantes a la contaminación pueden proliferar y colonizar las distintas zonas de este cuerpo de agua. Esto nos lleva a considerar a los bioindicadores como una señal del estado actual y temporal del recurso hídrico dentro de El Charco del Ingenio.

Para apoyar nuestros resultados se realizó la toma de diferentes parámetros fisicoquímicos y estos posicionaron al humedal como un cuerpo de agua ligeramente alcalino y ambiente reductor, lo que nos permite reforzar nuestros resultados y sostener con mayor veracidad que el cuerpo de agua se encuentra contaminado con distintas sustancias de origen industrial y agrícola, así como de materia orgánica.

Por otro lado, la semejanza de familias y especies bioindicadoras entre las zonas de estudio es irregular y esto puede deberse a que en algunos sitios como la zona 2 y 3 proveen gracias a sus características ambientales de refugio y alimento a determinadas familias y especies con lo que a dependencia de los datos que se analicen podemos obtener una trazabilidad entre las homologías de organismos en cada zona y esto genera un panorama del ecosistema en general.

Para poder sostener a estos ecosistemas es preciso tener agua que presente características adecuadas para la vida, para lo que se requiere conocer su condición en el espacio-tiempo, y en caso de ser necesario realizar acciones para la mejora en su calidad a través de diversos procesos que deberán ser seleccionados e implementados de acuerdo con las diferentes problemáticas que se vayan determinando.

Finalmente se cree oportuno considerar las propuestas del Marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (2000), en donde se propone precisamente para invertebrados la obtención de la composición, abundancia taxonómica y su grado de deterioro, el cociente entre taxones sensibles a las perturbaciones, taxones insensibles y el grado de diversidad de taxones de invertebrados ante signos de alteración en comparación con los valores inalterados. Así como también es importante generar un plan de acción para el mantenimiento y remediación del humedal empleando para ello estudios fisicoquímicos enfocados a la contaminación del agua, con la intención de validar los resultados de este trabajo y de ser necesario plantear metodologías que permitan la mejora de la calidad del agua dentro de El Charco del Ingenio.

VIII. RECOMENDACIONES

De acuerdo con la información planteada anteriormente, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Establecer estaciones para muestreos permanentes de agua y de organismos indicadores, así como un análisis de agua en un amplio espectro de parámetros, junto con monitoreos continuos durante las estaciones del año para una obtención de datos.
- Los organismos vertebrados también son buenos indicadores de la calidad de agua, sin embargo se necesita estudios anatómicos, fisiológicos y toxicológicos que salieron de las posibilidades de este proyecto pero que sin duda son una herramienta indispensable para determinar su importancia como bioindicadores, por lo que se recomienda continuar estos estudios.
- Los arroyos que aportan el agua a este humedal pasan por zonas habitadas y zonas con industria, se podría coleccionar el agua producida por estas y establecer una planta de tratamiento de aguas residuales y contar con un aporte continuo de agua hacia el humedal, por lo tanto, es necesario implementar estudios que permitan conocer las características depuradoras de este sistema.
- Se deben realizar más estudios para comprender la estructura y la dinámica del ecosistema y tomar en cuenta los factores ecológicos y socioeconómicos para el aprovechamiento de los recursos.
- Documentar, demostrar, y divulgar ampliamente las funciones, servicios y los beneficios de los humedales y de su importancia como Sitio Ramsar.

IX. REFERENCIAS

- Abanto Guadamos, V. H. (2015). Evaluación Ecosistémica de tres Lagunas Altoandinas en la Provincia de Pataz—Departamento La Libertad, 2015. *Universidad Nacional de Trujillo*. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4662>
- Abarca, F. J. (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. En Ó. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Márquez, y L. Zambrano (Eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (1.ª ed., pp. 113-145). Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Perpectivas-sobre-conservaci%C3%B3n-de-ecosistemas-acu%C3%A1ticos-en-M%C3%A9xico.pdf>
- Abarca Morales, H. (2007). El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua. *Biocenosis*, 20(1-2), 95-104.
- Abubakr, A., Gojar, A. A., Balkhini, M. H., y Malik, R. (2018). Macro-Invertebrates (Annelida; Oligochaeta) As Bio-Indicator of Water Quality under Temperate Climatic Conditions. *International Journal of Pure y Applied Bioscience*, 6(1), 726-737.
- Acciona. (2019). *Causas y consecuencias de la contaminación del agua*. Sostenibilidad Para todos. <https://www.sostenibilidad.com/agua/causas-consecuencias-contaminacion-agua/>
- Aguilar, A., Hasbargen, L., y Harman, W. N. (2020). Weaver Lake sediment core analysis, Warren, New York. *Universidad de San Carlos de Guatemala*, 1-21.
- Aguirre Sierra, A., Alonso, Á., y Camargo, J. A. (2011). Contrasting Sensitivities to Fluoride Toxicity between Juveniles and Adults of the Aquatic Snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86(5), 476-479. <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0241-z>
- Ahmed, R., y El Shenawy, N. (2001). *Anisops sardeus sardeus* herrich-schaeffer (Heteroptera: Notonectidae) as a bioindicator of heavy metals in wastewater treatment plant at Ismailiya, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 5(2), 129-146. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2001.1683>
- Alamrew, A. M. (2017). *Stressor Based Water Quality Assessment Using Benthic Macroinvertebrates as Bioindicators in Streams and Rivers Around Sebeta, Ethiopia* [Masters, Addis Ababa University]. <http://thesisbank.jhia.ac.ke/4721/>
- Alba Tercedor, J., Jáimez Cuéllar, P., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada i Caparrós, N., Casas, J., Mellado, A., Ortega, M., Pardo, I., Prat i Fornells, N., Rieradevall i Sant, M., Robles, S., Sáinz Cantero, C. E., Sánchez-Ortega, A., Suárez, M. L., Vidal-Abarca Gutiérrez, M. R., Vivas, S., y Zamora-Muñoz, C. (2002). Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP'). *Limnetica*, 21(3-4), 175-185.
- Albaji, L., Askary Sari, A., Payandeh, K., y Mohammadi Rouzbahani, M. (2023). Evaluation of heavy metal pollution in sediments, water and macrobenthos of Hur Al-Azim wetland (Khuzestan). *Journal of Oceanography*, 13(52), 30-0.
- Albarrán Zavala, E. (2008). El potencial redox y la espontaneidad de las reacciones electroquímicas. *Latin-American Journal of Physics Education*, 2(3), 336-345.
- Alonso, A., y Camargo, J. A. (2003). Short-Term Toxicity of Ammonia, Nitrite, and Nitrate to the Aquatic Snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 70(5), 1006-1012. <https://doi.org/10.1007/s00128-003-0082-5>

- Alonso, Á., y Camargo, J. A. (2013). Nitrate causes deleterious effects on the behaviour and reproduction of the aquatic snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca). *Environmental Science and Pollution Research*, 20(8), 5388-5396. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1544-x>
- Alonso, A., y Castro Díez, P. (2008). What explains the invading success of the aquatic mud snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca)? *Hydrobiologia*, 614(1), 107-116. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9529-3>
- Álvarez, F., Villalobos, J. L., Hendrickx, M. E., Escobar Briones, E., Rodríguez Almaraz, G., y Campos, E. (2014). Biodiversidad de crustáceos decápodos (Crustacea: Decapoda) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 208-219. <https://doi.org/10.7550/rmb.38758>
- Andersen, N. M., y Weir, T. A. (2004a). 20. Family Notonectidae. En *Australian Water Bugs. Their Biology and Identification (Hemiptera—Heteroptera, Gerromorpha y Nepomorpha)* (Vol. 14, pp. 282-303). CSIRO Publishing. https://doi.org/10.1163/9789004474512_025
- Andersen, N. M., y Weir, T. A. (2004b). 21. Family Pleidae. En *Australian Water Bugs. (Hemiptera—Heteroptera, Gerromorpha y Nepomorpha)* (Vol. 14, pp. 304-305). CSIRO Publishing. https://doi.org/10.1163/9789004474512_026
- Anderson, R. V. (1977). Concentration of Cadmium, Copper, Lead, and Zinc in Thirty-Five Genera of Freshwater Macroinvertebrates From the Fox River, Illinois and Wisconsin. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 18(3). <https://sci-hub.st/10.1007/BF01683430>
- Angeler, D. G., Sánchez Carrillo, S., García, G., y Alvarez Cobelas, M. (2001). The influence of *Procambarus clarkii* (Cambaridae, Decapoda) on water quality and sediment characteristics in a Spanish floodplain wetland. *Hydrobiologia*, 464(1), 89-98. <https://doi.org/10.1023/A:1013950129616>
- Angulo Collahuazudo, M. L. (2020). *Comunidad de peces del río Viche y su implicación ambiental* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/2049/1/ANGULO%20COLLAHUAZO%20MAYRA%20LIBETH.pdf#page=17yzoom=100,109,600>
- Animal Diversity Web. (2000). *Valvatidae*. Animal Diversity Web. <https://animaldiversity.org/accounts/Valvatidae/>
- Anistratenko, O., Degtyarenko, E., y Anistratenko, V. (2010). Shell and radula comparative morphology of the gastropod molluscs family Valvatidae from the North Black Sea coast. *Ruthenica, Russian Malacological Journal*, 20(2), 91-101.
- Aragón García, V. M. (2012). *La construcción social del discurso en torno al agua y su contribución a la creación de opinión pública: Una aproximación empírica al territorio de la Región de Murcia* [Tesina, Universidad de Murcia]. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/27801>
- Arce Cardona, P. A. (2018). *Humedales artificiales: Una alternativa para tratamiento de aguas de producción* [Para obtener la Especialización en Gestión Ambiental, Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7132/1/091369-2018-I-GA.pdf>
- Archna, A., Sharad, S., y Pratibha, A. (2015). Seasonal biological water quality assessment of river Kshipra using benthic macro-invertebrates. *International Journal of Research-Granthaalayah*, 3(9), 1-7.
- Arizabalo, R. D., y Díaz, G. (1991). La contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos. *Cuadernos del Instituto de Geofísica. UNAM*, 6, 7-34.
- Arizala Guachamin, Y. N., Chilán Toala, P. M., y Vera Andrade, E. A. (2017). Estudio de las poblaciones de gasterópodos en un área intervenida del manglar de limones. *Gestión Ambiental*, 15, 20-27.

- Armitage, P. D., Pinder, L. C., y Cranston, P. S. (2012). *The Chironomidae: Biology and ecology of non-biting midges*. Springer Science y Business Media.
- Arribas, P., Andújar, C., Abellán, P., Velasco, J., Millán, A., y Ribera, I. (2014). Tempo and mode of the multiple origins of salinity tolerance in a water beetle lineage. *Molecular Ecology*, 23(2), 360-373. <https://doi.org/10.1111/mec.12605>
- Assef, Y. A., Miserendino, M. L., y Horak, C. N. (2014). The Multixenobiotic Resistance Mechanism in Species of Invertebrates Associated to an Urban Stream in the Patagonia Mountain. *Water, Air, y Soil Pollution*, 225(11), 2164. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2164-x>
- ATL. (2009). *Legislación Nacional Hídrica*. ATL. El portal del agua desde México. http://www.atl.org.mx/index.php?option=com_contentyview=articleid=684:legislacion-nacional-hidrica-ycatid=55:leyes-y-reglamentosyItemid=468
- Auguet, S., Arreghini, S., María Serafini, R. J., Arambarri, A., y de Iorio, A. F. (2017). Efecto del stress por plomo en *Ludwigia peploides* e *Hydrocotyle ranunculoides*. *Biología Acuática*, 32, 1-15.
- Aydoğan, Z., Gürol, A., y İncekara, Ü. (2016). The investigation of heavy element accumulation in some Hydrophilidae (Coleoptera) species. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(4), 204. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5197-3>
- Aydoğan, Z., Gürol, A., y İncekara, Ü. (2018). Heavy Element Accumulation in Aquatic Beetles of the Genus *Enochrus* (Coleoptera: Hydrophilidae) in Erzurum Province. *Journal of Environmental Pollution and Control*, 1(1), 101.
- Aydoğan, Z., İncekara, Ü., Gürol, A., y Darılmaz, M. (2020). Measurement of Heavy Metals/Metalloids Levels with Using Dytiscidae (Coleoptera) Species, Collected from Six Different Cities of Turkey. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1559-1565. <https://doi.org/10.21597/jist.658958>
- Baqueiro-Cárdenas, E. R., Borabe, L., Goldaracena Islas, C. G., y Rodríguez Navarro, J. (2007). Los moluscos y la contaminación: Una revisión. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78, 1-7.
- Barman, B., y Gupta, S. (2015). Aquatic insects as bio-indicator of water quality A study on Bakumari stream, Chakras hila Wildlife Sanctuary, Assam, North East India. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3(3), 178-186.
- Beasley, G., y Kneale, P. E. (2003). Investigating the influence of heavy metals on macroinvertebrate assemblages using Partial Canonical Correspondence Analysis (pCCA)*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(2), 221-233.
- Beasley, G., y Kneale, P. E. (2004). Assessment of heavy metal and PAH contamination of urban streambed sediments on macroinvertebrates. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, 4, 563-578.
- Beketov, M. A. (2002). Ammonia toxicity to larvae of *Erythromma najas* (Hansemann), *Lestes sponsa* (Hansemann) and *Sympetrum flaveolum* (Linnaeus) (Zygoptera: Coenagrionidae, Lestidae; Anisoptera: Libellulidae). *Odonatologica*, 31(3), 297-304.
- Beltrán García, L. C. (2018). Diversidad de miriápodos (Diplopoda y Chilopoda) en dos localidades de San Ignacio, Sinaloa. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Entomología*, 4, 1-4.
- Benisch, C. (2022). *Resumen de fotos Hydrophilidae (escarabajos carroñeros de agua) de Alemania*. [kerbtier.de. https://www.kerbtier.de/cgi-bin/enFSearch.cgi?Fam=Hydrophilidae](https://www.kerbtier.de/cgi-bin/enFSearch.cgi?Fam=Hydrophilidae)
- Beré, T., Dalú, T., y Mwedzi, T. (2016). Detecting the impact of heavy metal contaminated sediment on benthic macroinvertebrate communities in tropical streams. *Science of The Total Environment*, 572, 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.204>

- Bergman, J. (2001). *Salinidad, Sales Disueltas, Medición de la Salinidad—Ventanas al Universo*. Ventanas al Universo. https://www.windows2universe.org/earth/Water/dissolved_salts.html?lang=sp
- Berisa, L., Lakew, A., y Negassa, A. (2019). Assessment of The Ecological Health Status of River Berga Using Benthic Macroinvertebrates as Bioindicators, Ethiopia. *North American Academic Research*, 2(6), 1-14.
- Bertran Prieto, P. (2020, agosto 26). *Potencial redox: Definición, características y aplicaciones*. medico+. <https://medicoplus.com/ciencia/potencial-redox>
- Blais, B., y Binford-Walsh, A. (2020). *Thamnophis cyrtopsis* (Black-necked Gartersnake). Predation. *Herpetological Review*, 51, 157-158.
- Blas Huisa, A. J. (2018). *Toxicidad aguda del tamarón (metamidofos) y sherpa (cipermetrina) en zooplancton de Chydorus globosus* [Para obtener el grado de Ingeniero Forestal y Ambiental, Universidad Nacional de Centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5095/T010_70417952_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Botella Cruz, M., Villastrigo, A., Pallarés, S., Millán, A., y Vellasco, J. (2016). Role of cuticular hydrocarbons in salinity tolerance of water beetles. *II Jornadas Doctorales de la Universidad de Murcia*, 1.
- Bouchelouche, D., Saal, I., y Arab, A. (2021). Study of the impact of metal and organic pollution on benthic macrofauna using multivariate analyses in coastal wetland of Reghaïa, Algeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(34), 46816-46826. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14820-7>
- Braga, J. de M., Ferreira, M. J. do N., y Rocha da Silva, M. do S. (2013). Efeito tóxico do íon amônio em ninfas de *Callibaetis* sp. (Baetidae) *Caenis cuniana* (Caenidae) E *miroculis* sp. (Leptophlebiidae) (Ephemeroptera). *II Congresso de Iniciação Científica PIBIC/CNPq - PAIC/FAPEAM*, 1-4.
- Bres, P., Crespo, D., Rizzo, P., y La Rossa, R. (2012). Capacidad de las macrofitas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* para eliminar el níquel. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(2), 153-157.
- Bridgeman, A. (2003). *Fulica americana* (American coot). Animal Diversity Web. https://animaldiversity.org/accounts/Fulica_americana/
- Broekhuizen, N., Parkyn, S., y Miller, D. (2001). Fine sediment effects on feeding and growth in the invertebrate grazers *Potamopyrgus antipodarum* (Gastropoda, Hydrobiidae) and *Deleatidium* sp. (Ephemeroptera, Leptophlebiidae). *Hydrobiologia*, 457(1), 125-132. <https://doi.org/10.1023/A:1012223332472>
- Burger, J., y Gochfeld, M. (1996). Heavy metal and selenium levels in birds at Agassiz National Wildlife Refuge, Minnesota: Food chain differences. *Environmental Monitoring and Assessment*, 43(3), 267-282. <https://doi.org/10.1007/BF00394454>
- Cabellos Cano, N., y Mañani Pérez, J. (2013). *Familia Lestidae. Clave de géneros*. Biodiversidad Virtual. <https://www.biodiversidadvirtual.org/taxofoto/sites/default/files/odo.9.pdf>
- Cai, M., Hu, R., Zhang, K., Ma, S., Zheng, L., Yu, Z., y Zhang, J. (2018). Resistance of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to combined heavy metals and potential application in municipal sewage sludge treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 1559-1567. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0541-x>
- Ley de Aguas Nacionales, Última Reforma DOF 06-01-2020, Diario Oficial de la Federación (1992). http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf

- Campos Cardenas, M. L. (2019). *Aprendemos la importancia del agua para los seres vivos* [Tesis de Licenciatura en Educación Primaria, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13406>
- Canhizares dos Santos, F. M., y de Oliveira Boina, W. L. (2017). Bioindicadores: Utilização de macrófitas aquáticas para avaliação de ambientes lacustres. *Colloquium Vitae*, 9(1), 23-27.
- Cao, P., Nie, G., Luo, J., Hu, R., Li, G., Hu, G., y Zhang, C. (2022). Cadmium and molybdenum co-induce pyroptosis and apoptosis via the PTEN/PI3K/AKT axis in the livers of Shaoxing ducks (*Anas platyrhynchos*). *Food y Function*, 13(4), 2142-2154. <https://doi.org/10.1039/D1FO02855C>
- Carbajal-Becerra, O., Olvera-Rodríguez, K. J., Souza, G. M. de, Durán-Rodríguez, O. Y., Ramírez-García, A., y Ramírez-Herrejón, J. P. (2020). Trophic strategies of the invasive Twospot livebearer (*Pseudoxiphophorus bimaculatus*, Teleostei: Poeciliidae) in a gradient of environmental quality in central Mexico. *Neotropical Ichthyology*, 18. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2019-0080>
- Castiglioni, E., García, L. F., Burla, J. P., Arbulo, N., y Fagúndez, C. (2017). Arañas y carábidos como potenciales bioindicadores en ambientes con distinto grado de intervención antrópica en el este uruguayo: Un estudio preliminar. *INNOTEC*, 13 ene-jun, 106-114. <https://doi.org/10.26461/13.11>
- Castillo Rodríguez, Z. G. (2014). Biodiversidad de moluscos marinos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 419-430.
- Caviedes Rubio, D. I., Delgado, D. R., y Olaya Amaya, A. (2016). Remoción de metales pesados comúnmente generados por la actividad industrial, empleando macrófitas neotropicales. *Producción + Limpia*, 11(2), 126-149. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a11>
- CEMDA, FEA, y Presencia Ciudadana. (2006). *El agua en México: Lo que todas y todos debemos saber* (1.ª ed.). CEMDA. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/02/agua-mexico_todas_todas.pdf
- Centro Estudios Cervantinos. (2019, enero 28). *Ecosistema léntico. Características, ejemplos y consideraciones ecológicas*. Centro Estudios Cervantinos. <https://www.centroestudioscervantinos.es/ecosistemas-lenticos/>
- Cervantes Cocom, G. A., y Chan Ceh, C. G. (2011). *Evaluación del crecimiento de la especie Oreochromis niloticus como bioindicador de la contaminación por herbicidas del grupo químico triazinas mediante un ensayo agudo y subcrónico de toxicidad* [Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad de Quintana Roo]. <http://rasisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/1013/QL391.C47.2011-%2064859.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cervantes, M. (2007). Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México. En Ó. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Márquez, y L. Zambrano (Eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (1.ª ed., pp. 37-68). Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat). <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Perpectivas-sobre-conservaci%C3%B3n-de-ecosistemas-acu%C3%A1ticos-en-M%C3%A9xico.pdf>
- Chancay García, R. A., y Ureta Espinoza, J. A. (2018). Actividades antropogénicas y la calidad de agua del Río Carrizal, sitio El Limón, utilizando bivalvos como bioindicadores. *Revista de Ciencias Agropecuarias*, 1(1), 14-19.
- Chang Gómez, J. (s.f.). *Calidad de agua* [Diapositiva de PowerPoint]. Calidad de agua. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad%20de%20Agua%20Unidad%201%2C2%2C3.pdf>

- Chaumot, A., Geffard, O., Armengaud, J., y Maltby, L. (2015). Chapter 11—Gammarids as Reference Species for Freshwater Monitoring. En C. Amiard Triquet, J. C. Amiard, y C. Mouneyrac (Eds.), *Aquatic Ecotoxicology* (pp. 253-280). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800949-9.00011-5>
- Chernaya, L. V., Kovalchuk, L. A., y Mikshevich, N. V. (2018). Seasonal Bioaccumulation of Heavy Metals by Medicinal Leech *Hirudo verbana*. *Hydrobiological Journal*, 54(5), 56-62. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v54.i5.60>
- Chernaya, L. V., Kovalchuk, L. A., y Mikshevich, N. V. (2019). Geographical variability of heavy metal concentrations in tissues of medical leeches (*Hirudo medicinalis*, *Hirudo verbana*) and in bottom deposit. *Nature Conservation Research*, 4(3), 67-77. <https://doi.org/10.24189/ncr.2019.051>
- Chiba, W. A. C., Passerini, M. D., y Tundisi, J. G. (2011). Metal contamination in benthic macroinvertebrates in a sub-basin in the southeast of Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 71(2), 391-399. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000300008>
- Choi, J. Y., Kim, S. K., Kim, J. C., y Yun, J. H. (2021). Invasion and Dispersion of the Exotic Species *Procambarus clarkii* (Decapoda Cambaridae) in Yeongsan River Basin, South Korea. *Animals*, 11(12), 3489. <https://doi.org/10.3390/ani11123489>
- Choudhary, A., y Ahi, J. (2015). Biodiversity of freshwater insects: a review. *The International Journal Of Engineering And Science*, 4(10), 25-31.
- Cieminski, K. L., y Flake, L. D. (1995). Invertebrate fauna of wastewater ponds in southeastern Idaho. *The Great Basin Naturalist*, 55(2), 105-116.
- Clavijo Cevallos, M. P. (2017). *Estimación de la calidad del agua del río Cutuchi, Latacunga, Cotopaxi, mediante análisis de bioindicadores* [Maestría en Gestión Ambiental, Universidad Internacional SEK]. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/2578>
- Cleto Filho, S. E. N., y Walker, I. (2001). Efeitos da ocupação urbana sobre a macrofauna de invertebrados aquáticos de um Igarapé da cidade de Manaus/AM - Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 31(1), 69-89. <https://doi.org/10.1590/1809-43922001311089>
- Clewing, C., von Oheimb, P. V., Vinarski, M., Wilke, T., y Albrecht, C. (2014). Freshwater mollusc diversity at the roof of the world: Phylogenetic and biogeographical affinities of Tibetan Plateau Valvata. *Journal of Molluscan Studies*, 80(4), 452-455. <https://doi.org/10.1093/mollus/eyu016>
- Colla, M. F., César, I. I., y Salas, L. B. (2013). Benthic insects of the El Tala River (Catamarca, Argentina): Longitudinal variation of their structure and the use of insects to assess water quality. *Brazilian Journal of Biology*, 73, 357-366. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842013000200016>
- Collins, S. J., y Fahrig, L. (2020). Are macroinvertebrate traits reliable indicators of specific agrichemicals? *Ecological Indicators*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105965>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2011). Mosquitos (Insecta: Diptera: Culicidae). En *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado* (pp. 399-403, + appendix). CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, AC México. https://www.researchgate.net/publication/275771578_Mosquitos_Insecta_Diptera_Culicidae
- CONABIO y enciclovida. (s. f.). *Pato mexicano (Anas diazi)*. Pato mexicano. Recuperado 4 de mayo de 2022, de <https://infoceanos.conabio.gob.mx/especies/135279-anas-diazi>
- CONAGUA. (2018a). *Estadísticas del Agua en México* (2018.^a ed.). http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf

- CONAGUA. (2018b). *Normas relacionadas con el sector agua*. CONAGUA. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php>
- CONAGUA. (2022). *Comisión Nacional del Agua*. <https://www.gob.mx/conagua#959>
- Contreras Rivero, G., Navarrete Salgado, N. A., Elias Fernández, G., y Rojas Bustamante, M. L. (1999). Corixidos (Hemiptera, Corixidae) presentes en un estanque piscícola del Estado de México y su relación con algunos parámetros ambientales. *Hidrobiológica*, 9(2), 95-102.
- Corbi, J. J., Froehlich, C. G., Trivinho Strixino, S., y dos Santos, A. (2011). Evaluating the use of predatory insects as bioindicators of metals contamination due to sugarcane cultivation in neotropical streams. *Environmental Monitoring and Assessment*, 177(1), 545-554. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1655-5>
- Córdova, S., Gaete, H., Aránguiz, F., y Figueroa, R. (2009). Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. *Latin american journal of aquatic research*, 37(2), 199-209. <https://doi.org/10.3856/vol37-issue2-fulltext-7>
- Cornejo, A., Ocegüera Figueroa, A., y Bernal Vega, J. A. (2015). Sanguijuelas (Annelida: Clitellata) de agua dulce de Panamá: Comparación con la riqueza de especies de Centro América. *Revista Puente Biológico*, 7, 1-13.
- Correa Mazzoni, A., Lanzer, R., y Schafer, A. (2014). Tolerance of benthic macroinvertebrates to organic enrichment in highland streams of northeastern Rio Grande do Sul, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 26(2), 119-128. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2014000200003>
- Correa-Araneda, F., Urrutia, J., y Figueroa, R. (2011). Estado del conocimiento y principales amenazas de los humedales boscosos de agua dulce de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 84(3), 325-340. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000300002>
- Cortezzi, A., Gullo, B. S., Simoy, M. V., Cepeda, R. E., Marinelli, C. B., Rodrigues Capítulo, A., y Berkunsky, I. (2018). Assessing the sensitivity of leeches as indicators of water quality. *Science of The Total Environment*, 624, 1244-1249. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.236>
- Couceiro, S. R. M., Hamada, N., Luz, S. L. B., Forsberg, B. R., y Pimentel, T. P. (2007). Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil. *Hydrobiologia*, 575(1), 271-284. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0373-z>
- Crandall, K. A., y Buhay, J. E. (2008). Global diversity of crayfish (Astacidae, Cambaridae, and Parastacidae—Decapoda) in freshwater. En E. V. Balian, C. Lévêque, H. Segers, y K. Martens (Eds.), *Freshwater Animal Diversity Assessment* (Vol. 198, pp. 295-301). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8259-7_32
- Cranston, P. S. (2004). Insecta: Diptera, Chironomidae. En *The Freshwater Invertebrates of Malaysia and Singapore* (pp. 711-735). Academy of Sciences. https://www.researchgate.net/profile/Catherine-Yule/publication/233727140_53_Diptera_Chironomidae/links/0fcfd50acd06270f26000000/53-Diptera-Chironomidae.pdf
- Cuezzo, M. G., Gutiérrez Gregoric, D. E., Pointier, J.-P., Vázquez, A. A., Ituarte, C., Dreher Mansur, M. C., Arruda, J. O., Barker, G. M., dos Santos, S. B., Ovando, X. M. C., de Lacerda, L. E. M., Fernandez, M. A., Thiengo, S. C., de Mattos, A. C., da Silva, E. F., Berning, M. I., Collado, G. A., Miyahira, I. C., Antoniazzi, T. N., ... Damborenea, C. (2020). Chapter 11—Phylum Mollusca. En D. C. Rogers, C. Damborenea, y J. Thorp (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (Fourth Edition)* (pp. 261-430). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804225-0.00011-3>

- Cui, S., Yu, T., Zhang, F., Fu, Q., Hough, R., An, L., Gao, S., Zhang, Z., Hu, P., Zhu, Q., y Pei, Z. (2020). Understanding the risks from diffuse pollution on wetland eco-systems: The effectiveness of water quality classification schemes. *Ecological Engineering*, 155, 105929. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105929>
- Cullen, M. J. (1969). The biology of giant water bugs (Hemiptera: Belostomatidae) in Trinidad. *Proceedings of the Royal Entomological Society of London. Series A, General Entomology*, 44(7-9), 123-136. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.1969.tb00836.x>
- CUVALLES. (2009). *Presa de la Vega. Teuchitlán, Jalisco, México* [Diapositiva de PowerPoint]. Ramsar Presa de la Vega, Guadalajara, México. http://www.web.valles.udg.mx/sites/default/files/presentacion_ficha Ramsar1.pdf
- Daleya, J. (2019). Gonópodos resplandecientes. *Investigación y Ciencia*, 6.
- de Anda Valades, L. (2017, junio 8). *Normatividad para agua potable en México: De la gestión a la aplicación*. iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/luis-anda-valades/normatividad-aplicable-agua-potable-mexico-gestion-aplicacion>
- de la Lanza Espino, G. (2000a). Criterios generales para la elección de bioindicadores. En S. Hernández Pulido y J. L. Carbajal Pérez, *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)* (pp. 14-43). Plaza y Valdes.
- de la Lanza Espino, G. (2000b). Criterios generales para la elección de bioindicadores. En S. Hernández Pulido y J. L. Carbajal Pérez, *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)* (pp. 14-43). Plaza y Valdes.
- de la Lanza Espino, G., y Hernández Pulido, S. (2014). Organismos acuáticos como indicadores de cambios ambientales: Características, elección, interpretación, monitoreo. Ventajas y desventajas. En C. A. González Zuarth, A. M. Low Pfeng, A. Vallarino, y J. C. Pérez Jiménez, *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental* (1.^a ed.). El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). https://www.academia.edu/15806347/Bioindicadores_guardianes_de_nuestro_futuro_ambiental
- DeGarady, C. J., y Halbrook, R. S. (2006). Using Anurans as Bioindicators of PCB Contaminated Streams. *Journal of Herpetology*, 40(1), 127-130. <https://doi.org/10.1670/30-05N.1>
- Department of the Environment. (2016). *Wetlands and water quality*. Australian Government. <https://www.awe.gov.au/water/wetlands/publications/factsheet-wetlands-water-quality>
- Díaz Prado, E., Godinez Rodríguez, M., Lopez Lopez, E., y Soto Galera, E. (1993). Ecología de los peces de la cuenca del río Lerma, México. *An. Ese. nac. Cienc. bio*, 39, 103-127.
- Doelle, K., y Udegbunam, I. (2021). Application of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae) Larvae to Treat Waste Water. *Annual Research y Review in Biology*, 36(2), 62-70.
- Domenech, X., Jardim, W. F., y Litter, M. I. (2001). Capítulo 1. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. En *Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea* (Vol. 2016, pp. 7-34). https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/41285564/4_cytedCap01_2004-with-cover-page-v2.pdf?Expires=165522494&Signature=drF6uMKmQQWQ8A8Q~Il6h7aK5N18-rZxfsHaM4eQQv4boQ-fzDSDTL35Mp7~8cJ0kfhOej3LwmaH~o1iVCFSSukufN1V0leWz6-DyQVdak~DVMe04r2Kub4Bq9zy-jfScp6rYibWrCbWTwx66TUYNN4g7gix-b1K5klpgZfyJBfbFNy~E3G2E~F7WvxTIWOGYZQssDuDzC7zDricqjpNBHsed7Ody3xbeUgVL1hsopfLbu~mzuJlaXSOJnWs6xsx-uhyxOopXD0u6CWcq7RtQ132v2nFAEMRjNgs6~NiMcogeg~gCT7hVu2Z2qzaYMPV0I7kqGKLXOm-7zMEIF4Fw__yKey-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

- Dorji, T., y Nidup, T. (2020). Study of Nymphs of Odonata (Anisoptera y Zygoptera) as a Bio-indicator for Aquatic Ecosystem: A Case Study in Trashigang District. *Sherub Doenme: The Research Journal of Sherubtse College*, 13(13), 1-16.
- Draft. (2009). Chapter 5. Odonata (Dragonflies y Damselflies). En R. W. Bouchard, *Guide to Aquatic Invertebrate Families of Mongolia identification Manual for Students, Citizen Monitors, and Aquatic Resource Professionals* (pp. 63-74). Saint Paul.
- Duran, M., y Suicmez, M. (2007). Utilization of both benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters for evaluating water quality of the stream Cekerek (Tokat, Turkey). *Journal of Environmental Biology*, 28(2), 231-236.
- Durán Rodríguez, O. Y. (2018). *Estudio integrado para el manejo de moluscos acuáticos exóticos en la microcuenca del Río Jalpan* [Maestría en Gestión integrada de Cuencas, Universidad Autónoma de Querétaro]. <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1006/1/CN-0010-Omar%20Yair%20Dur%c3%a1n%20Rodr%c3%aduez.pdf>
- Džeroski, S., Demšar, D., y Grbović, J. (2000). Predicting Chemical Parameters of River Water Quality from Bioindicator Data. *Applied Intelligence*, 13(1), 7-17. <https://doi.org/10.1023/A:1008323212047>
- Edegbene, A. O., y Arimoro, F. O. (2012). Ecological status of owan River, southern nigeria Using aquatic insects as Bioindicators. *Journal of Aquatic Sciences*, 27(2), 99-11.
- Editorial Grudemi. (2019a, julio 10). Anfibios—¿Qué son?, características, clasificación y ejemplos [Institucional]. *Enciclopedia de Biología*. <https://enciclopediaidebiologia.com/anfibios/>
- Editorial Grudemi. (2019b, julio 22). Reptiles—¿Qué son?, características, tipos, ejemplos y más [Institucional]. *Enciclopedia de Biología*. <https://enciclopediaidebiologia.com/reptiles/>
- El Charco del Ingenio. (2020). *Biodiversidad*. El Charco del Ingenio. https://www.elcharco.org.mx/vida_silvestre.html
- El Charco del Ingenio. (2022a). *El Charco del Ingenio—Inventarios*. https://www.elcharco.org.mx/listado_flora.html
- El Charco del Ingenio. (2022b). *El Charco del Ingenio—Inventarios*. https://www.elcharco.org.mx/listado_aves.html
- El Charco del Ingenio. (2022c). *El Charco del Ingenio—Inventarios*. https://www.elcharco.org.mx/listado_reptiles.html
- El Charco del Ingenio. (2022d). *El Charco del Ingenio—Inventarios*. https://www.elcharco.org.mx/listado_mamiferos.html
- Elías, R., Méndez, N., Muniz, P., Cabanillas, R., Gutiérrez-Rojas, C., Rozbaczylo, N., Londoño Mesa, M. H., Contreras, P. J. G., Cárdenas Calle, M., Villamar, F., Laverde Castillo, J. J. A., Brauko, K. M., Braga, M. A., Lana, P. da C., y Díaz Díaz, O. (2021). Los poliquetos como indicadores biológicos en Latinoamérica y el Caribe. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 34(1), 37-107. <https://doi.org/10.47193/mafis.3412021010301>
- Erhomosele Ehikhamele, I., y Sunday Ogbogu, S. (2017). Assessment of the concentrations of some heavy metals and their effects on the macroinvertebrate composition in Igun southwestern Nigeria, using reference site approach. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(1), 452-458.
- Ertaş, A., y Yorulmaz, B. (2021). Assessing water quality in the Kelebek Stream branch (Gediz River Basin, West Anatolia of Turkey) using physicochemical and macroinvertebrate-based indices. *Aquatic Research*, 4(3), 260-278.

- Escoto Moreno, J. A., González Sorian, E., scoto Rocha, J., y Márquez, J. (2014). Riqueza y distribución de la familia Aeshnidae (Odonata: Anisoptera) en el estado de Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 209-217.
- Espejo Cruz, M. E. (2017). *Determinación de la calidad fisicoquímica del agua del humedal El Juncal y su reconocimiento como ecosistema estratégico dentro de la educación básica primaria* [Tesis de Magister en Ciencias Ambientales, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/2398>
- Espinosa, L. F., Parra, J. P., y Villamil, C. (2011). Determinación del contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a los manglares de la ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 40(1), 7-23.
- Espinosa Paz, T. M., y Rodríguez, C. (2016). Tech note: Determination of water quality index (WQI) of Aroa river and Yaracuy river of Falcon and Yaracuy state in Venezuela. *Revista INGENIERÍA UC*, 23(3), 381-386.
- Espinosa Pérez, H. (2014). Biodiversidad de peces en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 450-459. <https://doi.org/10.7550/rmb.32264>
- Estrada Guerrero, D., y Soler Tovar, D. (2014). [Birds as bioindicators of heavy metal contamination in wetlands]. *Ornitología Colombiana*, 14, 145-160.
- Evenson, G. R., Golden, H. E., Lane, C. R., McLaughlin, D. L., y D'Amico, E. (2018). Depressional wetlands affect watershed hydrological, biogeochemical, and ecological functions. *Ecological Applications*, 28(4), 953-966. <https://doi.org/10.1002/eap.1701>
- Fachin, D., y Pujol Luz, C. (2016). Family Stratiomyidae. *Zootaxa*, 4122(1), 312-341. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4122.1.26>
- Fernández, C. J., Jocu, A. I., y Gandullo, R. (2018). Vegetación acuática bioindicadora de eutrofización del Alto Valle de Río Negro (Argentina). *ERNSTIA*, 28(1), 45-93.
- Fernández San Juan, M. R., Albornoz, C. B., Larsen, K., y Najle, R. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in *Limnobium laevigatum* and *Ludwigia peploides*: Their phytoremediation potential in water contaminated with heavy metals. *Environmental Earth Sciences*, 77(11), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7566-4>
- Fibras y Normas de Colombia. (2018, abril 24). Calidad del agua: Definición, factores y criterios, términos y definiciones. *Blog Fibras y Normas de Colombia*. <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/calidad-del-agua-definicion-factores-y-criterios/>
- Fierro Ortiz, E., y Caballero Rodríguez, L. E. (2015). *Evaluación de la calidad del agua del humedal de Santa María del lago mediante el uso de índices biológicos y fisicoquímicos para su implementación en otros humedales* [Tesis de grado en Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/1700/2015luis caballero.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- Fikáček, M., Gentili, E., y Short, A. E. Z. (2010). Order Coleoptera, family Hydrophilidae. *Arthropod fauna of the UAE*, 3, 135-165.
- Flohr Droege, O. A. (2005). *La importancia del mantenimiento de los ecosistemas* [Tesis de Maestría en Investigación, Universidad de San Carlos Guatemala.]. <https://aprenderly.com/doc/1921764/la-importancia-del-mantenimiento-de-los-ecosistemas>
- Flowers, R. W., y de la Rosa, C. (2010). Capítulo 4: Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical*, 58, 63-93.

- Fonseca Guerrero, J. M. (2016, agosto 7). Sanguijuelas, características, alimentación y reproducción. *Animales invertebrados*. <https://invertebrados.animalesbiologia.com/anelidos/sanguijuelas>
- Forero-Céspedes, A. M., Gutiérrez, C., Reinoso Flórez, G., Forero Céspedes, A. M., Gutiérrez, C., y Reinoso-Flórez, G. (2016). Composición y estructura de la familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) en una cuenca andina colombiana. *Hidrobiológica*, 26(3), 459-474.
- Forero-Céspedes, A. M., y Reinoso-Flórez, G. (2013). Estudio de la familia Baetidae (Ephemeroptera: Insecta) en una cuenca con influencia de la urbanización y agricultura: río Alvarado-Tolima. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 25, 12-21.
- Forsin Buss, D., y Falcão Salles, F. (2007). Using Baetidae Species as Biological Indicators of Environmental Degradation in a Brazilian River Basin. *Environ Monit Assess*, 130, 365-372.
- Fraixedas, S., Lindén, A., Piha, M., Cabeza, M., Gregory, R., y Lehtikoinen, A. (2020). A state-of-the-art review on birds as indicators of biodiversity: Advances, challenges, and future directions. *Ecological Indicators*, 118, 106728. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106728>
- Frelik, A. (2014). Food of adult diving beetles *Colymbetes fuscus* (Linnaeus, 1758) and *C. striatus* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Dytiscidae) in the Zehlau Peatbog and in oxbow lakes and fens (the Biebrza Marshes). *Polish Journal of Entomology*, 83, 171-180. <https://doi.org/10.2478/pjen-2014-0012>
- Frers, C. (2009). *Los humedales... Esa fuente de agua dulce*. EcoPortal.net. https://www.ecoport.net/temas-especiales/agua/los_humedales_esa_fuente_de_agua_dulce/
- Fretwell, J. D., Williams, J. S., y Redman, P. J. (1996). *National Water Summary on Wetland Resources*. U.S. Government Printing Office. https://books.google.com.mx/books?hl=esylr=yid=UDU411JLwI8CyoI=fndypg=PA1ydq=National+Water+Summary+on+Wetland+Resources.+Florida:+United+States+Geological+Survey.yots=wc42mHij1xysig=8AakWfyBfoectuKVL4jzQpIZ_yQyredir_esc=y#v=onepageyq=National%20Water%20Summary%20on%20Wetland%20Resources.%20Florida%3A%20United%20States%20Geological%20Survey.yf=false
- Fundación Aquae. (s.f.). *El problema de la contaminación hídrica—ECOLOGÍA*. Fundación Aquae. https://www.fundacionaquae.org/wiki-explora/35_contaminacion/index.html
- Galaviz Villa, I., Reyes Vásquez, M. P., y Castañeda Chavez, M. del R. (2020). *Factores de bioconcentración y traslocación de metales pesados en Eichhornia crassipes de la Laguna Olmeca en Veracruz*. Tecnológico Nacional de México. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/2558>
- Galindo-Pérez, E. J., Chávez-Sandoval, B. E., Espinoza-Graciano, E., Flores-Martínez, M. del C., Villeda Callejas, M. del P., Bhalli, J. A., Tejocote-Pérez, M., y García-Franco, F. (2017). Cave macroinvertebrates used as bioindicators of water quality. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(5), 5-17. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-01>
- Gallardo Mayenco, A., Macías, S., y Toja, J. (2004). Efectos de la descarga en la calidad del agua a lo largo de un río mediterráneo: El río Guadaira (Sevilla). *Limnetica*, 23(1-2), 65-78.
- Gallaway, M. S., y Hummon, W. D. (1991). Adaptation of *Cambarus bartonii cavatus* (Hay) (Decapoda: Cambaridae) to Acid Mine-Polluted Waters. *Ohio Journal of Science*, 91(4), 167-171.
- Gambellini, F. V. (2021, noviembre 9). ¿Cómo los anfibios pueden ser indicadores de contaminación ambiental? *ComunicaEC*. <https://www.comunicaec.com/como-los-anfibios-pueden-ser-indicadores-de-contaminacion-ambiental/>

- García, J. M., Sarmiento, L. F., Rodríguez, M. S., y Porras, L. S. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: Aplicación en ríos tropicales de alta montaña / Revisión corta. *UGCiencia*, 23, 47-62.
- García Madrigal, M. del S. (2007). Clave ilustrada para las familias de anfípodos gamáridos (Peracarida: Amphipoda) litorales del Pacífico oriental tropical y glosario de términos. *Ciencia y Mar*, 11(32), 3-27.
- García-Amilibia, M. A., Mosquera, P. V., Hampel, H., y Vázquez Z, R. F. (2017). Crustáceos bentónicos y macrófitos como indicadores de calidad ecológica en los lagos de los Andes Australes de Ecuador. *Maskana*, 8(1), 77-84.
- Garcidueñas Gómez, P. M. (2016). *Análisis de las políticas públicas para la conservación de humedales. Estudio de caso Humedal de Tres Palos, Acapulco, Guerrero*. [Tesis de Maestría en Derecho Ambiental y Políticas Públicas, Universidad del Medio Ambiente]. <https://umamexico.com/wp-content/uploads/2016/04/Pamela-Garciduenas-Humedales.pdf>
- Gárgano, L., Martín, J. P., y Armendáriz, L. (2020). Los oligoquetos acuáticos de la Patagonia extra-andina de la provincia de Santa Cruz: Ecología y distribución de las especies en relación a los factores ambientales. *VI Encuentro de Investigadores, Becarios y Tesistas de la Patagonia Austral*, 6, 108-111.
- Gattolliat, J.-L., y Nieto, C. (2009). The family Baetidae (Insecta: Ephemeroptera): synthesis and future challenges. *Aquatic Insects*, 31(sup1), 41-62. <https://doi.org/10.1080/01650420902812214>
- Gérard, C., Blanc, A., y Costil, K. (2003). Potamopyrgus antipodarum (Mollusca: Hydrobiidae) in continental aquatic gastropod communities: Impact of salinity and trematode parasitism. *Hydrobiologia*, 493(1), 167-172. <https://doi.org/10.1023/A:1025443910836>
- Gerencia de la Calidad del Agua. (2019). *Indicadores de calidad del agua*. SEMARNAT. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AGUA05_01yIBIC_u ser=dgeia_mceyIBIC_pass=dgeia_mce
- Glazier, D. S. (2009). Amphipoda. En G. E. Likens (Ed.), *Encyclopedia of Inland Waters* (pp. 89-115). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00154-X>
- Gobierno Federal de México. (2012). *Glosario General de Términos de Desarrollo de la Base Metodológica para el Inventario Nacional de Humedales de México*. Inventario Nacional de Humedales México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/165389/Glosario_de_T_rminos.pdf
- Goitía, C. (2010). *Tema 2 ecosistemas lénticos* [Diapositiva de PowerPoint]. <https://es.slideshare.net/carlos2do/tema-2-ecosistemas-lenticos>
- Goldschmidt, T. (2016). Water mites (Acari, Hydrachnidia): Powerful but widely neglected bioindicators – a review. *Neotropical Biodiversity*, 2(1), 12-25. <https://doi.org/10.1080/23766808.2016.1144359>
- Golovatyuk, L. V., y Shitikov, V. K. (2016). Salinity tolerance of macrozoobenthic taxa in small rivers of the Lake Elton basin. *Russian Journal of Ecology*, 47(6), 540-545. <https://doi.org/10.1134/S1067413616060059>
- Gómez Pompa, A., Barrera, A., Gutiérrez Vázquez, J. M., y Halffter Salas, G. (1968). *Biología: Unidad, diversidad y continuidad de los seres vivos*. Continental, CECSA. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=HAG.xisymethod=postyformato=2ycantidad=1yexpresion=mfn=002733>
- González, A., Soto, E., Tejada, J. C., Kohlmann, B., Pineda, N., Sanabria, A., y Brizuela, N. (2011). Use of bioindicators to determine water quality for agriculture use in the Arenal-Tempisque irrigation district in the dry tropic region of Costa Rica. *Tierra Tropical: Sostenibilidad, Ambiente y Sociedad*, 7(7), 95-108.

- González, D., Álvarez Bernal, D., Mora, M., Buelna-Osben, H. R., Ruelas-Insunza, J. R., González, D., Álvarez Bernal, D., Mora, M., Buelna-Osben, H. R., y Ruelas-Insunza, J. R. (2018). Biomonitorio de metales pesados en plumas de aves acuáticas residentes del lago de Chapala, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(2), 215-224. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.02.03>
- González Santoyo, S., Alcocer, J., y Oseguera, L. A. (2020). The “mosco” (Hemiptera: Corixidae and Notonectidae) of Lake Cuitzeo, Mexico: an unusual inland water fishery. *Limnology*, 21(1), 119-127. <https://doi.org/10.1007/s10201-019-00590-2>
- González Zuarth, C. A., y Vallarino, A. (2014). Los bioindicadores ¿una alternativa real para la protección del medio ambiente? En A. M. Low Pfeng y J. C. Pérez Jiménez, *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental* (1.ª ed.). El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). https://www.academia.edu/15806347/Bioindicadores_guardianes_de_nuestro_futuro_ambiental
- Goodyear, K. L., y McNeill, S. (1999). Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macro-invertebrates of different feeding guilds: A review. *The Science of the Total Environment*, 229, 1-19.
- Gorni, G. R., Sanches, N. A. de O., Colombo Corbi, V., y Corbi, J. J. (2018). Oligochaeta (Annelida: Clitellata) in the Jurueña River, MT, Brazil: species indicators of substrate types. *Biota Neotropica*, 18. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0566>
- Green, A., y Figuerola, J. (2003). Aves acuáticas como bioindicadores en los humedales. *Ecología, Manejo y Conservación de los humedales*, 47-60.
- Groiler. (1985a). Aguas subterráneas. En *Enciclopedia de Las Ciencias, Groiler* (8.ª ed., Vol. 3, pp. 74-71). Cumbre.
- Groiler. (1985b). Fuentes de provisión de agua. En *Enciclopedia de Las Ciencias, Groiler* (8.ª ed., Vol. 3, pp. 34-35). Cumbre.
- Gupta, A. (1995). Metal accumulation and loss by *Crocothemis servilia* (Drury) in a small lake in Shillong, northeastern India (Anisoptera: Libellulidae). *Odonatologica*, 24(3), 283-289.
- Gutiérrez Báez, C. (2006). Lista de especies de plantas acuáticas vasculares de la península de Yucatán, México. *Polibotánica*, 21, 75-87.
- Hanafi, Y. (2014). *Keanekaragaman anggota invertebrata bentik sebagai bioindikator kualitas perairan sungai Sangon, Kokap, Kulon Progo, daerah istimewa Yogyakarta* [Universitas Gadjah Mada]. http://etd.repository.ugm.ac.id/home/detail_pencarian/71562
- Hanson, A., Swanson, L., Ewing, D., Grabas, G., Meyer, S., Ross, L., Watmough, M., y Kirkby, J. (2008). *Wetland Ecological Functions Assessment: An Overview of Approaches. Technical Report Series*. Canadian Wildlife Service. https://www.researchgate.net/profile/Alan-Hanson/publication/228904872_Wetland_Ecological_Functions_Assessment_An_Overview_of_Approaches/links/59356b6baca272fc555a1b7c/Wetland-Ecological-Functions-Assessment-An-Overview-of-Approaches.pdf
- Harbach, R. (2007). The Culicidae (Diptera): A Review Of Taxonomy, Classification And Phylogeny *. *Zootaxa*, 1668, 591-638. <https://doi.org/10.5281/zenodo.180118>
- Harun, S., Al Shami, S. A., Dambul, R., Mohamed, M., y Harun Abdullah, M. (2015). Water Quality and Aquatic Insects Study at the Lower Kinabatangan Rive Catchment, Sabah: In Response to Weak La Niña Event. *Sains Malaysiana*, 44(4), 545-558.
- Hassan, M. I., Yousef, N. A. M., El Surtasi, E. I., Bream, A. S., y El Sayed, A. A. M. (2017). Use of aquatic insect, *Anisops sardeus sardeus* (Heteroptera: Notonectidae) as bioindicator for drinking water quality at aga surface water plant, Dakhliya, Egypt. *Al Azhar Bulletin of Science*, 9(9), 91-99.

- Hassanpour, M., Pourkhabbaz, A., y Ghorbani, R. (2012). The Measurement of Heavy Metals in Water, Sediment and Wild Bird (Common Coot) in Southeast Caspian Sea. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 21(1), 184-194.
- Hauer, F. R., y Resh, V. H. (2017). Chapter 15—Macroinvertebrates. En F. R. Hauer y G. A. Lamberti (Eds.), *Methods in Stream Ecology, Volume 1 (Third Edition)* (pp. 297-319). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416558-8.00015-9>
- Hauser, M. (2008). Order Diptera, family Stratiomyidae. *Arthropod fauna of the UAE, 1*, 591-601.
- Hawkes, H. A. (1998). Origin and development of the biological monitoring working party score system. *Water Research*, 32(3), 964-968. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00275-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00275-3)
- Hegazy, A., Emam, M. H., Lovett-Doust, L., Azab, E., y El-Khatib, A. (2017). Response of duckweed to lead exposure: Phytomining, bioindicators and bioremediation. *Desalination and Water Treatment*, 70, 227-234. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.20545>
- Heink, U., y Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10(3), 584-593.
- Henao Muñoz, L. M., y Bernal Bautista, M. H. (2011). Tolerancia al pH en embriones y renacuajos de cuatro especies de Anuros colombianos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(134), 105-110.
- Hernández, D. V., y Cook, J. L. (2008). *Clave para Pleidae de América del Norte (Hemiptera: Pleidae)*. 93rd ESA ANNUAL MEETING. <https://eco.confex.com/eco/2008/techprogram/P13836.HTM>
- Hernández, E. (2010). Importancia del agua para los seres vivos. *Elementalwatson «la» revista*, 1(1), 9-16.
- Hernández, L. M., Gómara, B., Fernández, M., Jiménez, B., González, M. J., Baos, R., Hiraldo, F., Ferrer, M., Benito, V., Suñer, M. A., Devesa, V., Muñoz, O., y Montoro, R. (1999). Accumulation of heavy metals and As in wetland birds in the area around Doñana National Park affected by the Aznalcollar toxic spill. *Science of The Total Environment*, 242(1-3), 293-308. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00397-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00397-6)
- Hernández Peña, M. A. (s.f.). *El Charco del Ingenio: El proyecto ciudadano más relevante en la región en términos de conservación y restauración*. ADAPTUR. <https://adaptur.mx/articulo-sma-el-charco-ingenio.html>
- Hernández Peña, M. A., y Avalos, M. (2020). *Área de Protección de Flora y Fauna “El Charco del Ingenio y Zonas Aledañas”*. RAMSAR.
- Hernández-Colina, A., Yadeun, M., y García-Espinosa, G. (2018). Waterfowl community from a protected artificial wetland in Mexico State, Mexico. *Huitzil*, 19(1), 85-95. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2018.19.1.310>
- Hoffman, D. J. (2002). Role of selenium toxicity and oxidative stress in aquatic birds. *Aquatic Toxicology*, 57(1), 11-26. [https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(01\)00263-6](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(01)00263-6)
- Holt, E. A., y Miller, S. W. (2010). *Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts / Learn Science at Scitable*. Thenatureeducation. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/bioindicators-using-organisms-to-measure-environmental-impacts-16821310/>
- Hong, Z., Ding, S., Zhao, Q., Qiu, P., Chang, J., Peng, L., Wang, S., Hong, Y., y Liu, G.-J. (2021). Plant trait-environment trends and their conservation implications for riparian wetlands in the Yellow River. *Science of The Total Environment*, 767. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144867>

- Hurtado Morales, M. J. (2019). Concentración de metales pesados en serpientes acuáticas (*Helicops pastazae*) y su potencial como bioindicador de contaminación hídrica. *Universidad de los Andes*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/45257>
- Ingredientes que Suman. (2016). *Principales causas de la contaminación del agua*. OXFAM Intermón. <https://blog.oxfamintermon.org/cuales-son-las-principales-causas-de-la-contaminacion-del-agua/>
- Irwin, N. B., Irwin, E. G., Martin, J. F., y Aracena, P. (2018). Constructed wetlands for water quality improvements: Benefit transfer analysis from Ohio. *Journal of Environmental Management*, 206, 1063-1071. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.050>
- Izazola Rodríguez, P. (2021). *Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Familia Lemnaceae* (Vol. 222). Instituto de Ecología, A.C. <http://incolbajio.incol.mx/floradelbajio/documentos/fasciculos/ordinarios/Lemnaceae%20222.pdf>
- Kabat, A. R., y Hershler, R. (1993). *The Prosobranch Snail Family Hydrobiidae (Gastropoda: Rissooidea): Review of Classification and Supraspecific Taxa* (Vol. 547). Smithsonian contributions to zoology. https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/5560/SCtZ-0547-Lo_res.pdf?sequence=1
- Kahirun, K., Sabaruddin, L., Mukhtar, M., y Harjoni Kilowasid, L. M. (2019). Evaluation of land use impact on river water quality using macroinvertebrates as bioindicator in Lahumoko Watershed, Buton Island, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(6), Article 6. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200623>
- Kanaujia, A., Kumar, A., Kushwaha, S., y Kumar, A. (2014). Exploitation of wetlands in and around Lucknow, Uttar Pradesh, India. *Proceeding Biodiversity and Environment. International Conference on Faunal Biodiversity and their Conservational Strategies, Lucknow*, 134-140. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57669642/Wetlands_Paper-_LU_conference-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1655249804&Signature=TRPnYM6TscJQO-6bBDkvTQc64LSMrRZ~OXi-R2ezPcRfBJKmr0kAZ2LNsvns8rZSNTGXb3QueEILsKfLjuordiSZtqpO-bMRt83eVfglV2-z-7XsmVkfomNXpZblsTd-5xGkZeyjHmovqkQ2TSCn47AQxLBdWPJ1WyY4X~WJTJVQc1M8cTZMgtBnQJIXPuFY3ifVLLt1IbV4ywTfhZyfJ3csSAIEmYEG6XAHom1TenOmofB4cVBWUykoUMo-51ig1TmCUcOLAoh2pLg7vwiQ3Uqg6Zflcigx5CI7Oma8wEk9KODrtTTtAcq~yqsXUCXgTuCmX3h8ociV2ecmZBKuNw__yKey-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Kazanci, N., y Dügel, M. (2010). Determination of influence of heavy metals on structure of benthic macroinvertebrate assemblages in low order Mediterranean streams by using canonical correspondence analysis. *Review of Hydrobiology*, 3(1), 13-26.
- Kefford, B. J., Papas, P. J., y Nugegoda, D. (2003). Relative salinity tolerance of macroinvertebrates from the Barwon River, Victoria, Australia. *Marine and Freshwater Research*, 54(6), 755-765. <https://doi.org/10.1071/mf02081>
- Kingsford, R. T., Basset, A., y Jackson, L. (2016). Wetlands: Conservation's poor cousins. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26(5), 892-916. <https://doi.org/10.1002/aqc.2709>
- Kitowski, I., Wiacek, D., Sujak, A., Komosa, A., y Swietlicki, M. (2017). Factors affecting trace element accumulation in livers of avian species from East Poland. *Turkish Journal of Zoology*, 41(5), 901-913.
- Komarek, A. (2003). Hydrophilidae: Check list and key to Palearctic and Oriental genera of aquatic Hydrophilidae. *Water beetles of China*, 3, 383-395.

- Komolafe, J. I., Okorie, T., y Tyokumbur, E. (2014). Physico-Chemical Quality of Water, Sediments, Effluents and Biota in Alaro Stream and a Pond in Ibadan. *Advances in Bioscience and Bioengineering*, 2(1), 16-37.
- Küçük, S. (2008). The effect of organic pollution on benthic macroinvertebrate fauna in the Kirmir creek in the Sakarya basin. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(1), 5-12.
- Kutschera, U. (1988). A New Leech Species from Norrth America, *Helobdella californica* nov. Sp. (Hirudinea: Glossiphoniidae). *Zoologischer Anzeiger*, 3/4(220), 173-178.
- Kutschera, U., Langguth, H., Kuo, D.-H., Weisblat, D. A., y Shankland, M. (2013). Description of a new leech species from North America, *Helobdella austinensis* n. sp. (Hirudinea: Glossiphoniidae), with observations on its feeding behaviour. *Zoosystematics and Evolution*, 89(2), 239-246. <https://doi.org/10.1002/zoos.201300010>
- Labajo Villantes, Y. I., y Nuñez, O. M. (2015). Macroinvertebrates as bioindicators of water quality in Labo and Clarin rivers, Misamis Occidental, Philippines ... *International Journal of Biosciences*, 6(9), 62-73.
- Ladrera, R., Rieradevall, M., y Prat, N. (2013). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: Una herramienta didáctica. *Ikastorratza. e-Revista de Didáctica*, 11.
- Lagar Mascaró, A. (1967). Los Gyrinidae (Coleoptera) de Cataluña. *Miscelánea Zoológica*, 75-80.
- Lakhloufi, M. Y., Lamchouri, F., El Haissoufi, M., Boulfia, M., Zalaghi, A., y Toufik, H. (2021). Evaluation of anthropic activities impact through the monitoring of aquatic fauna on Oued Lârbaa in Taza City of Morocco. *Environ Monit Assess*, 193, 1-16.
- Lapkina, L. N., y Arkhipova, N. R. (2000). Comparative analysis of tolerance to pesticides in annelids. *Russian Journal of Ecology*, 31(5), 336-340. <https://doi.org/10.1007/BF02828448>
- Lara-Lara, R., Arena-Fuentes, V., Bazán-Guzmán, C., Diaz, V., Escobar-Briones, E., García-Abad, M. C., Gaxiola-Castro, G., Robles-Jarero, G., Sosa-Avalos, R., Soto-González, L. A., Tapia, M., y Valdez-Holguín, J. (2008). Los ecosistemas marinos. En *Capital Natural De México* (Vol. 1, pp. 135-159). CONABIO. https://www.researchgate.net/publication/288533769_Los_ecosistemas_marinos
- Larson, D. J., y Roughley, R. E. (1991). Family Dytiscidae (Predaceous diving beetles). En *Checklist of Beetles of Canada and Alaska* (pp. 93-106). Agriculture Canada Publication. <http://www.canacoll.org/Coleo/Checklist/PDF%20files/DYTISCIDAE.pdf>
- Latha, C., y Gnana Thanga, S. (2010). Choice of bioindicator species for estuaries of south Herala: An approach based on macroinvertebrate. *The Ecoscan*, 4(4), 285-289.
- Leaño Sanabria, J. J., y Pérez Barriga, D. (2020). Determinación de la Calidad del Agua mediante el índice BMWP/BOL (bioindicadores ecológicos) del Rio Trancas, Municipio de Entre Ríos—Tarija. *Acta Nova*, 9(4), 567-591.
- Lefor, M. W., y Kennard, W. C. (1997). *Inland Wetland Definitions* (Vol. 28). Special Reports. https://opencommons.uconn.edu/ctiwr_specreports/27/
- Lettoof, D. C., Bateman, P. W., Aubret, F., y Gagnon, M. M. (2020). The Broad-Scale Analysis of Metals, Trace Elements, Organochlorine Pesticides and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Wetlands Along an Urban Gradient, and the Use of a High Trophic Snake as a Bioindicator. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 78(4), 631-645. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00724-z>
- Li, L., Zheng, B., y Liu, L. (2010). Biomonitoring and Bioindicators Used for River Ecosystems: Definitions, Approaches and Trends. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1510-1524.

- Limburg, K. E. (2009). Aquatic Ecosystem Services. En *Encyclopedia of Inland Waters* (Vol. 1, pp. 25-30). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00004-1>
- Lisboa Barrientos, J. L. (2016). *Macroinvertebrados acuáticos indicadores de calidad de agua en el río Chira. Piura- Perú.* Universidad Nacional de Piura. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1493/BIO-LIS-BAR-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Liu, W., Guo, Z., Jiang, B., Lu, F., Wang, H., Wang, D., Zhang, M., y Cui, L. (2020). Improving wetland ecosystem health in China. *Ecological Indicators*, 113, 106184. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106184>
- Lopes da Trindade, R., y de Sousa Gorayeb. (2010). Jenejes (Diptera: Ceratopogonidae: Culicoides), luego de la estación de lluvias, en la Reserva de Desarrollo Sostenible Itatupã-Baquiá, Gurupá, Pará, Brasil. *Rev. Pan-Amaz Saude*, 1(2), 121-130.
- López-Islas, M. E., Ibarra-Meza, I., Ortiz-Ordóñez, E., Favari, L., Sedeño-Díaz, E. J., y López-López, E. (2017). Biological Responses of the American Coot (*Fulica americana*), in wetlands with contrasting environmental conditions (Basin of México). *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 80(6), 349-364. <https://doi.org/10.1080/15287394.2017.1325422>
- López-Islas, M. E., Ibarra-Meza, I., Ortiz-Ordóñez, E., Favari, L., Sedeño-Díaz, J. E., y López-López, E. (2016). Histopatología del Hígado, Lipoperoxidación e Índices Somáticos de *Fulica americana* en los Humedales de Xochimilco (Urbano) y Tecocomulco (Rural) de la Cuenca de México. *International Journal of Morphology*, 34(2), 522-532. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022016000200019>
- Lorente Camila, J. (2015). Biomarcadores de exposición a contaminantes en crustáceos decápodos dulceacuícolas. *CONICET*, 1-4.
- Lot, A. (2012). Las monocotiledóneas acuáticas y subacuáticas de México. *Acta botánica mexicana*, 100, 135-148.
- Luo, J., Ye, Y., Gao, Z., Wang, Y., y Wang, W. (2016). Trace Element (Pb, Cd, and As) Contamination in the Sediments and Organisms in Zhalong Wetland, Northeastern China. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 25(4), 395-407. <https://doi.org/10.1080/15320383.2016.1145187>
- Lyons, J., Gutiérrez-Hernández, A., Díaz-Pardo, E., Soto-Galera, E., Medina-Nava, M., y Pineda-López, R. (2000). Development of a preliminary index of biotic integrity (IBI) based on fish assemblages to assess ecosystem condition in the lakes of central Mexico. *Hydrobiologia*, 418(1), 57-72. <https://doi.org/10.1023/A:1003888032756>
- Magagula, C. N., Mansuetus, A. B., y Tetteh, J. O. (2010). Ecological health of the Usuthu and Mbuluzi rivers in Swaziland based on selected biological indicators. *African Journal of Aquatic Science*, 35(3), 283-289. <https://doi.org/10.2989/16085914.2010.545505>
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement* (1.^a ed.). Springer Dordrecht. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-015-7358-0>
- Mahmoud, M. A., y Riad, S. A. (2020). Ecological studies on some aquatic insects in the Damietta branch, River Nile of Egypt as bioindicators of pollution. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(4), 57-76. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2020.95322>
- Mamert, O., Serge, Z. T., Koji, E., Tchatcho, N., y Tchakonté, S. (2016). Influence of municipal and industrial pollution on the diversity and the structure of benthic macro-invertebrates community of

- an urban river in Douala, Cameroon. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 8(6), 120-133.
- Mancilla-Villa, O. R., Gómez-Villaseñor, L., Olguín-López, J. L., Guevara-Gutiérrez, R. D., Hernández-Vargas, O., Ortega-Escobar, H. M., Flores-Magdaleno, H., Can-Chulim, Á., Sánchez-Bernal, E. I., Cruz-Crespo, E., y Palomera-García, C. (2022). Contaminación orgánica por coliformes, Nitrógeno y Fosforo en los ecosistemas acuáticos de la cuenca del río Ayuquila-Armería, Jalisco, México. *Biotechnia*, 24(1), 5-14. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v24i1.1283>
- Marenkov, O., Kovalchuk, J., Shapovalenko, Z., Naboka, O., Nesterenko, O., y Dzhobolda, B. (2017). Parameters of the histological adaptation of Marmorkrebs *Procambarus fallax* f. Virginal (Decapoda, Cambaridae) to zinc and cadmium ions pollution. *World Scientific News*, 90, 189-202.
- Marín Ortega, V. (2018). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua del río Amanalco* [MAestría en Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/98784/TESIS-MCA-VALENTIN-MARIN-ORTEGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marković, V., Petković, A., Tubić, B., Llić, M., Kračun Kolarević, M., Marinković, N., Novaković, B., Gačić, Z., y Paunović, M. (2014). *Impact of heavy metals in sediments on the macroinvertebrates communities of some smaller streams in Belgrade region (Serbia)*. 1. https://www.researchgate.net/publication/269929242_Impact_of_heavy_metals_in_sediments_on_the_macroinvertebrates_communities_of_some_smaller_streams_in_Belgrade_Region_Serbia
- Martínez de la Vega, G. (2019). Artrópodos. En *La Biodiversidad en San Luis Potosí, Estudio de Estado*. (Vol. 2, pp. 165-171). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). https://www.researchgate.net/publication/338954468_ARTROPODOS
- Martínez Grimaldo, R. E., Avilés Mariño, A. L., Vega Flores, G., Peralta Olmedo, C., y Maya Albarrán, E. C. (2018). Diversidad histórica de los anfibios y reptiles del sureste de Tamaulipas con comentarios sobre su conservación actual. *Transversalidad Científica y Tecnológica*, 2(1), 10-17.
- Masee, F. O., Omukoto, J. O., y Nyakeya, K. (2013). Biomonitoring as a prerequisite for sustainable water resources: A review of current status, opportunities and challenges to scaling up in East Africa. *Ecohydrology y Hydrobiology*, 13(3), 173-191. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2013.06.004>
- Mbaka, J. G., M'Erimba, C. M., y Mathooko, J. M. (2015). Impacts of Benthic Coarse Particulate Organic Matter variations on Macroinvertebrate Density and Diversity in the Njoro River, A Kenyan Highland Stream. *Journal of East African Natural History*, 103(1), 39-48. <https://doi.org/10.2982/028.103.0101>
- McMurry, J. (2012). *Química orgánica* (Octava edición). CENGAGE Learning.
- Meagher, W. L. (2007). *Revisión y actualización del inventario de la flora espontánea del Jardín Botánico «El Charco del Ingenio», San Miguel de Allende, Guanajuato (México): Vol. XXII. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. <http://inecolbajio.inecol.mx/floradelbajio/documentos/fasciculos/complementarios/ComplementarioXXII.pdf>
- Megateli, S., Semsari, S., y Couderchet, M. (2009). Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by *Lemna gibba*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(6), 1774-1780. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.05.004>
- Mendoza, Y. I., Pérez, J., y Galindo, A. A. (2018). Evaluación del Aporte de las Plantas Acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. *Información tecnológica*, 29(2), 205-214. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000200205>

- Menetrey, N., Oertli, B., Sartori, M., Wagner, A., y Lachavanne, J. B. (2008). Eutrophication: Are mayflies (Ephemeroptera) good bioindicators for ponds? *Hydrobiologia*, 597(1), 125-135. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9223-x>
- Mercado Reyes, M. (2012). *Ecología y Genética de la Conservación del Pato Triguero (Anas platyrhynchos diazi) en el Altiplano Zacatecano* [Doctorado en Ciencias con acentuación en Manejo de Vida Silvestre y Desarrollo Sustentable, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/3074/1/1080237531.pdf>
- Merrick, C., y Filingeri, D. (2019). The evolution of wetness perception: A comparison of arachnid, insect and human models. *Journal of Thermal Biology*, 85, 102412. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102412>
- Mi Hur, J., Hoon Hwang, J., y Jae Bae, Y. (1999). Association of larval and adult stages of *Hydropsyche valvata* Martynov (Hydropsychidae, Trichoptera). *Entomological Research Bulletin (KEI)*, 25, 13-15.
- Michat, M. C., y Archangelsky, M. (2014). Gyrinidae. En S. Roig Juárez, L. E. Claps, y J. J. Marrone, *Biodiversidad de Artrópodos Argentinos* (Vol. 3, pp. 455-465). Sociedad Entomológica Argentina, Mendoza.
- Microlab Industrial. (2019). *Hablemos de REDOX, el otro potencial en el agua*. [aguasresiduales.com. https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/hablemos-de-redox-el-otro-potencial-del-agua](https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/hablemos-de-redox-el-otro-potencial-del-agua)
- Miglio-Toledo, R. (2017). *Humedales y Calidad del Agua*. http://www.apinam.org/sites/default/files/webfiles/2017/doc/humedales2017_unalm.pdf
- Ministerio de Medio Ambiente. (2000). *Libro blanco del agua en España*. JACARYAN, S.A. <http://www.cedex.org/NR/rdonlyres/7D08175D-29A4-40F9-A0CB-E70AB46EA8C9/126193/Indice.pdf>
- Ministerio Nacional de Ambiente y Energía (MINAE). (2007). *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales: Capítulo IV: Monitoreo Biológico*. La Gaceta Diario Oficial 178. Decreto N° 339003-MINAE-S, pp 3-4. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cos74387.pdf>
- Miserendino, M. L., Epele, L. B., Brand, C., y Manzo, L. M. (2020). *Los indicadores biológicos en la Patagonia. Calidad de agua e integridad ecológica: Una mirada desde arroyos a mallines*. CONICET Digital. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/120087/CONICET_Digital_Nro.25ecf26d-3112-4fdc-98c1-ceb490fb90e4_R.pdf?sequence=8&isAllowed=y
- Mmako, T., Addo Bediako, A., Luus Powell, W., y Kekana, M. (2021). Assessment of river health using benthic macroinvertebrates in the Dwars River, Olifants Water Management Area, Limpopo province, South Africa. *African Journal of Aquatic Science*, 46(4), 441-451. <https://doi.org/10.2989/16085914.2021.1922348>
- Mohd Ishadi, N. A., Md Rawi, C. S., Ahmad, A. H., y Abdul, N. H. (2014). The Influence of Heavy Metals and Water Parameters on the Composition and Abundance of Water Bugs (Insecta: Hemiptera) in the Kerian River Basin, Perak, Malaysia. *Tropical Life Sciences Research*, 25(2), 61-79.
- Moraga, P., y Muñoz, G. (2010). Prevalencia, abundancia y caracterización de morfoespecies de sanguijuelas (Annelida: Hirudinea) en peces intermareales de Chile central. *Archivos de medicina veterinaria*, 42(2), 71-78. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2010000200008>

- Morales, N., Arévalo, K., Ortega, J., Briceño, B., Andrade, C., y Morales, E. (2006). El pH y la fuente nitrogenada como moduladores del crecimiento de la macrófita *Lemna* sp. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23, 67-79.
- Morales Ríos, B. E. (2018). *Desarrollo de estrategias de manejo mediante la evaluación integral de «El Charco del Ingenio»*, Guanajuato [Tesis de Maestría en Ciencias (Energía y Medio Ambiente)]. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. MyT-Manuales y Tesis SEA* (Vol. 1). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo; Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe, UNESCO; Sociedad Entomológica Aragonesa. https://www.researchgate.net/publication/304346666_Metodos_para_medir_la_biodiversidad
- Moreno-Casasola Barceló, P. (2012). *Los humedales en México. Oportunidades para la sociedad*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable,. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/Humedales.pdf>
- Mullens, B. A., y Luhring, K. A. (1996). Salinity and Pollution Effects on Survival and Infectivity of *Heleidomermis magnapapula* (Stichosomida: Mermithidae) for *Culicoides variipennis sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae). *Environmental Entomology*, 25(5), 1202-1208. <https://doi.org/10.1093/ee/25.5.1202>
- Munroe, K. (2012). *Dragonflies of N. Va.* <http://dragonfliesnva.com/My%20Documents/KevinPDF/pdf/identify/families/FamilyIntro-skimmers-FINAL.pdf>
- Muñoz-Riveaux, S., Naranjo-López, C., Garcés-González, G., González-Lazo, D. D., Musle-Cordero, Y., y Rodríguez-Montoya, L. (2003). Evaluación de la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2), 147-153.
- Nasirian, H. (2014). Evaluation of water quality and organic pollution of Shadegan and Hawr Al Azim wetlands by biological indices using insects. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2(5), 193-200.
- Nasirian, H., Vazirianzadeh, B., Taghi Sadeghi, S. M., y Nazmara, S. (2014). *Culiseta subochrea* as a Bioindicator of Metal Contamination in Shadegan International Wetland, Iran (Diptera: Culicidae). *Journal of Insect Science*, 14(1). <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieu120>
- National Research Council. (1992). *Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/1807>
- NaturaLista Mexico. (2013a). *Foto 1952129, (c) letebile, algunos derechos reservados (CC BY-NC-ND), uploaded by letebile · NaturaLista Mexico.* NaturaLista Mexico. <https://www.naturalista.mx/photos/1952129>
- NaturaLista Mexico. (2013b). *Foto 29263185, (c) wojtest, todos los derechos reservados, uploaded by wojtest · NaturaLista Mexico.* NaturaLista Mexico. <https://www.naturalista.mx/photos/29263185>
- NaturaLista Mexico. (2016). *Foto 52006051, (c) Logan Crees, algunos derechos reservados (CC BY-NC), uploaded by Logan Crees · NaturaLista Mexico.* NaturaLista Mexico. <https://www.naturalista.mx/photos/52006051>
- NaturaLista Mexico. (2018). *Foto 23880330, (c) Joanne Redwood, algunos derechos reservados (CC BY-NC), uploaded by Joanne Redwood · NaturaLista Mexico.* NaturaLista Mexico. <https://www.naturalista.mx/photos/23880330>

- NaturaLista Mexico. (2019a). *Foto 45651760, (c) Zoology123, algunos derechos reservados (CC BY-NC), uploaded by Zoology123 · NaturaLista Mexico.* NaturaLista Mexico. <https://www.naturalista.mx/photos/45651760>
- NaturaLista Mexico. (2019b). *Foto 52072367, (c) Arely Ramírez, algunos derechos reservados (CC BY-NC), uploaded by Arely Ramírez · NaturaLista Mexico.* NaturaLista Mexico. <https://www.naturalista.mx/photos/52072367>
- NaturaLista Mexico. (2019c). *Fotos de Escarabajos de Agua (Familia Hydrophilidae) · NaturaLista Mexico.* NaturaLista Mexico. https://www.naturalista.mx/taxa/127444-Hydrophilidae/browse_photos
- NaturaLista Mexico. (2020). *Foto 59998057, (c) Eli Diego Moreno, algunos derechos reservados (CC BY-SA), uploaded by Eli Diego Moreno · NaturaLista Mexico.* NaturaLista Mexico. <https://www.naturalista.mx/photos/59998057>
- Nelson, K., y Kullasoot, S. (2009). Aquatic Insects as Bioindicators for Sustainable Water Use: A Comparative Analysis of Three Water Reservoirs in Thailand. *Biological Sciences*, 11, 23-27.
- Neumann, M., y Dudgeon, D. (2002). The impact of agricultural runoff on stream benthos in Hong Kong, China. *Water Research*, 36(12), 3103-3109. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00540-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00540-1)
- Nieser, N. (2014). Guide to aquatic Heteroptera of Singapore and Peninsular Malaysia. III. Pleidae and Notonectidae. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 52(1), 79-96.
- Nieto, C. (2010). Cladistic analysis of the family Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) in South America. *Systematic Entomology*, 35(3), 512-525. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2010.00523.x>
- Nieto, C., Malizia, A., Carilla, J., Izquierdo, A., Rodríguez, J., Cuello, S., Zannier, M., Grau, H. R., Nieto, C., Malizia, A., Carilla, J., Izquierdo, A., Rodríguez, J., Cuello, S., Zannier, M., y Grau, H. R. (2016). Patrones espaciales en comunidades de macroinvertebrados acuáticos de la Puna Argentina. *Revista de Biología Tropical*, 64(2), 747-762. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i2.18801>
- Nosrati, H., Nosrati, M., y Karimi, R. (2013). The Phylum Annelida: A Short Introduction. *Agriculture Science Developments*, 2(3), 28-30.
- Obinwanne Okoye, C., Echude, D., Obinna Chiejina, C., Chukwuebuka Okoye, K., Nnenna Eze, M., y Damian Ezeonyejiaku, C. (2021). Macroinvertebrates as Bioindicators of Water Quality Assessment in a Tropical Stream. *International Journal of Aquatic Science*, 12(02), 3552-3561.
- Ocón, C., Ferreira, A. C., Paz, L., Lopez van Oosterom, M. V., Cortezzi, A., Cochero, J., Cortese, B., Armendáriz, L., y Rodrigues Capítulo, A. (2016). *Evaluación de valores óptimos y tolerancia a parámetros físicoquímicos, nutrientes y metales pesados para macroinvertebrados bentónicos en arroyos de la Región Pampeana (Argentina)* (p. 3). Universidad del Magdalena. https://www.researchgate.net/profile/Ana-Clara-Ferreira-2/publication/301690053_EVALUACION_DE_VALORES_OPTIMOS_Y_TOLERANCIA_A_PARAMETROS_FISICO-QUIMICOS_NUTRIENTES_Y_METALES_PESADOS_PARA_MACROINVERTEBRADOS_BENTONICOS_EN_ARROYOS_DE_LA_REGION_PAMPEANA_ARGENTINA/links/5722489308ae586b21d3f3de/EVALUACION-DE-VALORES-OPTIMOS-Y-TOLERANCIA-A-PARAMETROS-FISICO-QUIMICOS-NUTRIENTES-Y-METALES-PESADOS-PARA-MACROINVERTEBRADOS-BENTONICOS-EN-ARROYOS-DE-LA-REGION-PAMPEANA-ARGENTINA.pdf
- Ocon, C. S., y Rodrigues Capítulo, A. (2004). Presence and abundance of Ephemeroptera and other sensitive macroinvertebrates in relation with habitat conditions in pampean streams (Buenos Aires, Argentina). *Arch. Hydrobiol.*, 159(4), 473-487.

- Oehlmann, J., y Schulte Oehlmann, U. (2003). Chapter 17. Molluscos as bioindicators. En *Trace Metals and Other Contaminants in the Environment* (pp. 577-635). Elsevier Science.
- Oguma, A. Y., y Klerks, P. L. (2020). Comparisons Between Laboratory Sediment Toxicity Test Results and Assessment of Benthic Community Changes for a Lake with Mild Metal Contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 78(1), 106-116. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00692-z>
- Ohba, S. (2019). Ecology of giant water bugs (Hemiptera: Heteroptera: Belostomatidae). *Entomological Science*, 22(1), 6-20. <https://doi.org/10.1111/ens.12334>
- Olarte Durán, A. Z., y González Suarez, D. A. (2018). Determinación del tratamiento y la calidad de agua utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. *Dinamica ambiental*, 2, 9-26.
- Oliva González, S., Almeida, C., Quintar, S., González, P., y Mallea, M. A. (2008). El uso del potencial redox en muestras ambientales. *Universidad Nacional de San Luis Chacabuco y Pedernera 5700 San Luis*, 1-5.
- Olivares Calzado, G., Naranjo López, C., López del Castillo, P., y Morell Bayard, A. (2012). Valoración de la calidad del agua del Río San Juan de Santiago de Cuba asociado a un foco de contaminación industrial. *Ciencia en su PC*, 4, 99-111.
- Oliveira, A., y Callisto, M. (2010). Benthic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in an Atlantic forest fragment. *Iheringia. Série Zoologia. Porto Alegre*, 100(4), 291-300.
- Olomukoro, O., y Azubuike, C. N. (2009). Heavy Metals and Macroinvertebrate Communities in Bottom Sediment of Ekpan Creek, Warri, Nigeria. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 2(1), 1-8.
- Ondarse Álvarez, D. (2021). Agua—Concepto, composición, funciones e importancia [Institucional]. *concepto*. <https://concepto.de/agua/>
- Orozco, L., Vega, D., Leal, H., y Argüelles, S. (2013). *Guía de aves del Charco del Ingenio, San Miguel de Allende, Guanajuato*.
- Orozco Uribe, L. C. (2016). *Los manantiales del El Charco del Ingenio y Cieneguita en San Miguel de Allende, Guanajuato: Una propuesta de gestión para su conservación* [Maestría en Gestión Integrada de Cuencas]. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Otero Durán, I. (2002). *Hábitat funcional de la focha americana (Fulica americana) en un humedal de la sabana de Bogotá* [Trabajo de grado para obtener el título de Bióloga, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8513/tesis47.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Pachón, A., Luna Mora, V., García Londoño, A. F., Villa-Navarro, F. A., Roa, M., Albornoz Garzón, J. G., Montoya Ospina, D. C., Lozano, J. L., Ávila Avilán, R. C., Miranda Cortes, L. M., Vallejo Santamaría, E. V., Garzón Cubillos, N. B., Quiroga Giraldo, C., Watteijne Cerón, B., Martínez López, P., Gutiérrez García, S., y Mantilla, J. C. (2015). *Identificación de amenazas presentes y potenciales para la conservación de hábitats y especies en el complejo ventana piloto de humedales Paz de Ariporo- Hato Corozal, Casanare*. Fundación OMACHA. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9544>
- Pageo, E. B.-R. (2012). Crustáceos anfípodos: Una alternativa al alimento vivo usado tradicionalmente en acuicultura. *Chronica naturae*, 2, 64-72.
- Paggi, A. (1999). Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 58(1-2), 202-207.

- Pahari, P. R., Mandal, S. S., Maiti, S., y Bhattacharya, T. (2019). Diversity and community structure of Odonata (Insecta) in two land use types in Purba Medinipur District, West Bengal, India. *Journal of Threatened Taxa*, 11(6), 13748-13755. <https://doi.org/10.11609/jott.4139.11.6.13748-13755>
- Palacio-Núñez, J., Verdú, J. R., Galante, E., Jiménez-García, D., y Olmos-Oropeza, G. (2007). Birds and fish as bioindicators of tourist disturbance in springs in semi-arid regions in Mexico: A basis for management | Animal Biodiversity and Conservation. *Animal Biodiversity and Conservation*, 30(1), 29-41.
- Pârvulescu, L., y Hamchevici, C. (2010). The relation between water quality and the distribution of Gammarus Balcanicus Schäferna 1922 (Amphipoda: Gammaridae) in the Anina mountains. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 5(2), 161-168.
- Pastorino, P., Pizzul, E., Bertoli, M., Perilli, S., Brizio, P., Salvi, G., Esposito, G., Abete, M. C., Prearo, M., y Squadrone, S. (2020). Macroinvertebrates as bioindicators of trace elements in high-mountain lakes. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(6), 5958-5970. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07325-x>
- Patarasiriwong, V. (2000). Water Quality of the Rangsit Prayoosak Canal. *Kasetsart J (Soc. Sci)*, 21, 109-117.
- Paulson, D. (2009). Pond Damsel Family(Coenagrionidae). En *Dragonflies and Damselflies of the West, Princeton* (Vol. 49, pp. 73-183). Princeton University Press. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9781400832941.73/html>
- Peña, C., García, J., Calderón, C., y Buitrago, J. (s. f.). Análisis de la calidad del agua y del suelo por medio de macroinvertebrados en Tena, Cundinamarca (Colombia). *Academia. Accelerating the world's research*, 1-9.
- Peñuela Jiménez, J. H., Bello Pulido, J. A., Guevara Acosta, M. Á., y Cortez Mago, R. J. (2016). Nueva área de distribución de Corbicula fluminea (Müller, 1774) (Bivalvia: Cyrenidae) en el estado Monagas, Venezuela. *Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 1-6.
- Peraza Escarrá, R. (2017). *Diversidad y abundancia de fitoplancton del embalse Abreus (Cienfuegos, Cuba)* [Doctorado en Biología Marina y Acuicultura con Mención en Ecología Marina, Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de La Habana Y Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos]. <https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/10996/TESIS%20MAESTR%C3%8DA%20ROSELY%20PEREZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez Osorio, I. N., Navarrete Salgado, N. A., y Solís Juárez, K. (2014). Contenido del tracto digestivo en hembras y machos de Poeciliopsis infans en el Estanque JF ubicado en Soyaniquilpan de Juárez, Estado de México. *Revista de Zoología*, 25, 1-9.
- Pérez, R., Riveiro, F., Jiménez Noda, M., Manganiello, L., Vega, C., Cova, R., y Moreno, J. (2017). Evaluación de la calidad del agua en un humedal de agua salada del Caribe. *Revista INGENIERÍA UC*, 24(3), 417-427.
- Petrauskienė, L. (2008). Lethal effects of Zn, Cu and their mixture on the medicinal leech (Hirudo verbana). *Ekologija*, 54(2), 77-80.
- Phillips, A. J., y Siddall, M. E. (2009). Poly-paraphyly of Hirudinidae: Many lineages of medicinal leeches. *BMC Evolutionary Biology*, 9(1), 246. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-9-246>
- Pineda-López, R., Pérez-Mungía, R. M., Mathuriau, C., Villalobos-Hiriart, J. L., Barba Álvarez, R., Bernal, T., Barba-Macías, E., y Salinas-Rodríguez, S. A. (2014). *Protocolo de muestreo de macroinvertebrados en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico*

- (NMX-AA-159- SCFI-2012) (Vol. 1). Programa Nacional de Reservas de Agua. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2021/05/2PHFT2F2CtnF.pdf>
- Pitalugade Godoi, F. S., y Pujol Luz, J. R. (2018). Chapter 16.11. Family Stratiomyidae. En N. Hamada, J. H. Thorp, y D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates. Volume 3: Keys to Neotropical Hexapoda* (Vol. 3, pp. 771-777). Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128042236000408>
- Plamen, V., Baev, Y., y Lyubomir D., P. (1995). *BIODIV: Program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap and cluster analysis Version 5.1.*
- Podestá, J., Cotillo, A., y Segura Cobeña, E. (2017). Variación temporal de la riqueza y abundancia de aves playeras Limícolas en el humedal costero "Poza De La Arenilla"- La Punta, Callao. *The Biologist (Lima)*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.24039/rtb2017151136>
- Polhemus, D. A. (1988). Familia Pleidae Fieber, 1851: Los nadadores pigmeos. En T. J. Henry y R. C. Froeschner (Eds.), *Catálogo de Heteroptera, o True Bugs, de Canadá y los Estados Unidos continentales* (1.ª ed.). Prensa CRC.
- Polhemus, J. T., y Polhemus, D. A. (1988). Family Notonectidae Latreille, 1802: The Backswimmers. En *Catalog of the Heteroptera, or True Bugs, of Canada and the Continental United States* (1.ª ed.). CRC Press.
- Pontificia Universidad Católica del Ecuador. (2013). *Baetidae*. Baetidae. <https://baetidae.wordpress.com/>
- Ramírez, A. (2010). Capítulo 5: Odonata. *Revista de Biología Tropical*, 58, 97-136.
- Ramírez Herrejón, J. P., Castañeda Sam, L. S., y Moncayo Estrada, R. (2013). Ecología trófica del pez exótico Guatapote del Lerma *Poeciliopsis infans* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) en el Lago de Patzcuaro, Region Central de Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1289-1300.
- Ranjan Mitra, T. (2006). 6. Insecta: Odonata. En Zoological Survey of India, *Fauna of Arunachal Pradesh. State Fauna Series (Part-2)* (Vol. 13, pp. 85-88). Zoological Survey of India. https://www.researchgate.net/profile/Dhriti-Banerjee/publication/298716263_Fauna_of_Arunachal_PradeshInsecta_DipteraBombyliidae/links/56ea779808ae3a5b48cd6eb4/Fauna-of-Arunachal-Pradesh-Insecta-DipteraBombyliidae.pdf#page=73
- Rathod, S. D. (2018). *Phylum Arthropoda*. Course I: First semester. <http://dspace.vpmthane.org:8080/jspui/bitstream/123456789/7505/1/PHYLUM%20ARTHROPODA-FYBSC.pdf>
- Reguera, P., Couceiro, L., y Fernández, N. (2018). A review of the empirical literature on the use of limpets *Patella* spp. (Mollusca: Gastropoda) as bioindicators of environmental quality. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 593-600. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.004>
- Rejmánková, E. (1975). Comparison of *Lemna gibba* and *Lemna minor* from the production ecological viewpoint. *Aquatic Botany*, 1, 423-427. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(75\)90042-X](https://doi.org/10.1016/0304-3770(75)90042-X)
- Ribera, I., y Foster, G. (1997). El uso de artrópodos como indicadores biológicos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 20, 265-276.
- Rico-Sánchez, A. E., Rodríguez-Romero, A. J., Sedeño-Díaz, J. E., López -López, E., y Sundermann, A. (2021). Aquatic Macroinvertebrate Assemblages in Rivers Under the Influence of Mining Activities. *Research Square*, 1-15. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-568053/v1>

- Rico-Sánchez, A., Rodríguez, J., López-López, E., y Sedeño-Díaz, J. (2014). Patrones de variación espacial y temporal de los macroinvertebrados acuáticos en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo (México). *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 81-96. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15780>
- Rijel Cobb, S. (2018). *Poliquetos bénticos como bioindicadores de contaminación por enriquecimiento orgánico en la zona urbana de la bahía de Chetumal, Quintana Roo*. Universidad de Quintana Roo. <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/1937>
- Ríos Touma, B., Acosta, R., y Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): Revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 249-273.
- Rivera, C., Quiroga, E., Meza, V., y Pastene, M. (2019). Evaluation of water quality and heavy metal concentrations in the RAMSAR Wetland El Yali (Central Chile, 33°45'S). *Marine Pollution Bulletin*, 145, 499-507. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.054>
- Rivera Usme, J. J. (2011). *Relación entre la composición y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas y químicas en el humedal Jaboque Bogotá-Colombia* [Para obtener el título de Maestría en Ciencias-Biología, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7752>
- Rodríguez Ruiz, P. (2001). *Abastecimiento de agua*. Instituto Tecnológico de Oaxaca. https://www.academia.edu/34846532/ABASTECIMIENTO_DE_AGUA_INSTITUTO_TECNOL%C3%93GICO_DE_OAXACA
- Roldán Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: Cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254-274. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Romano, L. A. (1999). Bioindicadores de contaminación acuática en peces. *AquaTIC*, 7, 1-10.
- Ronderos, M. M., Díaz, F., Mario, P., y Ferreira-Keppler, R. (2018). Family Ceratopogonidae. *Thorpe and Covich's Freshwater Invertebrates*, 625-659. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804223-6.00030-5>
- Rono, A., Tsingalia, H., Makatiani, J., y Wanjala, P. (2018). Macroinvertebrates as Bioindicators of Point Source Pollution of Sambul River, Kenya. *Journal of Global Ecology and Environment*, 8(3), 112-123.
- Rosa, B. J. F. V., Rodrigues, L. F. T., de Oliveira, G. S., y da Gama Alves, R. (2014). Chironomidae and Oligochaeta for water quality evaluation in an urban river in southeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(11), 7771-7779. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3965-5>
- Roughley, R. E. (1961). Family Gyrinidae (Whirligig beetles). En *Checklist of Beetles of Canada and Alaska* (pp. 72-73). Agriculture Canada Publication. <http://canacoll.org/Coleo/Checklist/PDF%20files/GYRINIDAE.pdf>
- Rowe, A. (2014). River Health in Puyo, Ecuador The Use of Macroinvertebrates as Bioindicators of Water Quality and Alternatives to Chlorine for Whitening Clothes in the Puyo River Watershed. *Independent Study Project (ISP) Collection*, 1-39.
- Roy, M.-C., Azeria, E. T., Locky, D., y Gibson, J. J. (2019). Plant functional traits as indicator of the ecological condition of wetlands in the Grassland and Parkland of Alberta, Canada. *Ecological Indicators*, 98, 483-491. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.021>
- Rudolf, R. (1978). Notes on the dragonfly fauna of very small pools near munster, Westfalia, German Federal Republic. *Notulae odonatologicae*, 1(1), 1-16.

- Rzedowski, J. (2006). Capítulo 19. Vegetación acuática y subacuática. En *Vegetación de México* (1ra Edición Digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxC19.pdf>
- Sáenz, M. R., y De La Llana, A. A. (1990). 8. Odonata. En *Entomología Sistemática* (pp. 33-37). Universidad Nacional Agraria. <https://www.biodiversidadvirtual.org/taxofoto/sites/default/files/odo.9.pdf>
- Saglam, N., Dörücü, M., Ozdemir, Y., Seker, E., y Sarieyyupoglu, M. (2008). Distribution and economic importance of medicinal leech, *Hirudo medicinalis* (Linnaeus, 1758) in Eastern Anatolia/Turkey. *Lauterbornia*, 65, 105-118.
- Saglam, N., Saunders, R., Lang, S. A., y Shain, D. H. (2016). A new species of *Hirudo* (Annelida: Hirudinidae): historical biogeography of Eurasian medicinal leeches. *BMC Zoology*, 1(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40850-016-0002-x>
- Salas Rodríguez, C. Y. (2020). *Importancia del Humedal El Charco del Ingenio y su relevancia como Sitio Ramsar para el establecimiento y conservación de las comunidades de aves acuáticas* [Maestría en Ciencias (Energía y Medio Ambiente)]. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Salawu, M. O., Sunday, E. T., y Oloyede, H. O. B. (2018). Bioaccumulative activity of *Ludwigia peploides* on heavy metals-contaminated water. *Environmental Technology y Innovation*, 10, 324-334. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.04.001>
- Salimi, S., Almuktar, S. A. A. N., y Scholz, M. (2021). Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands. *Journal of Environmental Management*, 286, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112160>
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., y Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- Sánchez Herrera, M. J. S. (2005). El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita Norte de Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 3(2), 54-67.
- Sánchez, Ó. (2007). Ecosistemas acuáticos: Diversidad, procesos, problemática y conservación. En M. Herzing, E. Peters, R. Márquez, y L. Zambrano, *Perspectivas sobre la conservación de ecosistemas acuáticos en México* (pp. 11-36). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, U.S. Fish and Wildlife Service, Unidos para la Conservación, A.C., Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/533/ecosistemas.pdf>
- Sánchez Vélez, A. S., García Núñez, R. M., y Palma Trujano, A. (2003). *La cuenca hidrográfica: Unidad básica de planeación y manejo de los recursos naturales*. (1.ª ed.). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable, Comisión Nacional del Agua. http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca_hidrografica.pdf
- Savage, A. A. (1990). The distribution of Corixidae in lakes and the ecological status of the north west midlands meres. *Field Studies*, 7, 516-530.
- Scarsbrook, M., Barquín, J., y Gray, D. (2007). 3.2.1 Hydrobiidae (spring snails). En *New Zealand coldwater springs and their biodiversity*. Science y Technical Publishing. <https://docs.niwa.co.nz/library/public/SFC278.pdf>

- Scheibler, E. E., Pozo, V., y Paggi, A. C. (2008). Distribución espacio-temporal de larvas de Chironomidae (Diptera) en un arroyo andino (Uspallata, Mendoza, Argentina). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 67(3-4), 45-58.
- Schmidtman, E. T., Bobian, R. J., y Belden, R. P. (2000). Soil Chemistries Define Aquatic Habitats with Immature Populations of the Culicoides variipennis Complex (Diptera: Ceratopogonidae). *Journal of Medical Entomology*, 37(1), 58-64. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-37.1.58>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). *Designación de sitios Ramsar: Marco estratégico y lineamientos para el desarrollo futuro de la Lista de Humedales de Importancia Internacional*. (4.^a ed., Vol. 17). Secretaría de la Convención de Ramsar. <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/hbk4-17sp.pdf>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)* (6a.). Secretaría de la Convención de Ramsar. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/63CDE791FF2EB4CD05257C630051708F/\\$FILE/1_pdfsam_Manual_convenci%C3%B3n_de_Ramsar_2013.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/63CDE791FF2EB4CD05257C630051708F/$FILE/1_pdfsam_Manual_convenci%C3%B3n_de_Ramsar_2013.pdf)
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2016). *Introducción a la Convención sobre los Humedales (anteriormente Manual de la Convención de Ramsar)* (5a ed.). Secretaría de la Convención de Ramsar. http://www.chmhonduras.org/phocadownloadpap/Ramsar/Maneles_de_aplicacion/Introduccion%20a%20la%20convencion%20sobre%20los%20Humedales.pdf
- Segnini, S. (2003). El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotropicos*, 16(2), 45-63.
- Seguí Seguí, P. (2019). *Ecosistemas acuáticos; tipos, flora, fauna y características*. OVACEN. <https://ecosistemas.ovacen.com/acuaticos/>
- SEMARNAT. (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental* (N.º 2012). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_3.html
- SEMARNAT. (2016). *Resumen Ejecutivo. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde* (N.º 2015). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- Sepulveda-Jauregui, A., Hoyos-Santillan, J., Gutierrez-Mendieta, F. J., Torres-Alvarado, R., Dendooven, L., y Thalasso, F. (2013). The impact of anthropogenic pollution on limnological characteristics of a subtropical highland reservoir “Lago de Guadalupe”, Mexico. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 410(04), 1-15. <https://doi.org/10.1051/kmae/2013059>
- Serafiński, W., Rembecka, I., y Strzelec, M. (1989). Biometrics and life cycle of *Physa acuta* Draparnaud 1805 (Gastropoda: Basommatophora: Physidae) under human impact. *Folia Malacologica*, 3, 139-147. <https://doi.org/10.12657/folmal.003.011>
- Shafshar, K., Heiba, F., y Gcasa, N. (2001). Accumulation of copper, lead and cadmium in some tissues of the crayfish *Procambarus Clarkii* (Cambaridae, Crustacea). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 5(2), 47-56. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2001.1677>
- Shamsoddini, Z., Sadeghi, S., y Hosseinie, S. O. (2016). Genus *Berosus* Leach, 1817 in southern Iran (Coleoptera: Hydrophilidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(6), 784-787.

- Sherba, M., Dunham, D. W., y Harvey, H. H. (2000). Sublethal Copper Toxicity and Food Response in the Freshwater Crayfish *Cambarus bartonii* (Cambaridae, Decapoda, Crustacea). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 46(3), 329-333. <https://doi.org/10.1006/eesa.1999.1910>
- Shimba, M. J., Mkude, I. T., y Jonah, F. E. (2018). Impacts of waste on macroinvertebrate assemblages of Msimbazi River, Tanzania. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 10(2), 106-116. <https://doi.org/10.5897/IJBC2017.1124>
- Shoemaker, C. M., Ervin, G. N., y DiOrio, E. W. (2017). Interplay of water quality and vegetation in restored wetland plant assemblages from an agricultural landscape. *Ecological Engineering*, 108, 255-262. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.034>
- Silalom, S., Carter, J. L., y Chantaramongkol, P. (2010). Calculation of Weighted Averages Approach for the Estimation of Ping Tolerance Values. *Chiang Mai Journal of Science*, 37(1), 151-159.
- Silva R, Á. S., y Zamora-miglioZamora, H. D. (2005). *Humedales Artificiales* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]. https://www.researchgate.net/publication/38975453_Humedales_Artificiales
- Silva Soares, T., Lopes Segadilha, J., Braga, R. B., y Clarkson, B. (2019). Necrophagy on *Rhinella granulosa* (Amphibia, Anura, Bufonidae) by the aquatic beetle families Hydrophilidae and Dytiscidae (Insecta, Coleoptera) in Caatinga environment, Northeastern Brazil. *Herpetology Notes*, 12, 869-872.
- Simonit, S., y Perrings, C. (2011). Sustainability and the value of the ‘regulating’ services: Wetlands and water quality in Lake Victoria. *Ecological Economics*, 70(6), 1189-1199. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.01.017>
- Smith, A., Tetzlaff, D., Gelbrecht, J., Kleine, L., y Soulsby, C. (2020). Riparian wetland rehabilitation and beaver re-colonization impacts on hydrological processes and water quality in a lowland agricultural catchment. *Science of The Total Environment*, 699, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134302>
- Soedarmanto, H., y Setiawati, E. (2020). Bioassessment of river water pollution using benthic macroinvertebrates as bioindicators. *Emerging Science and Technology as a Solution for Global Challenge on Research and Technology Based on Sustainable Resources*, 2, 59-68. <https://brsbb-conferences.kemenperin.go.id/wp-content/uploads/2021/01/Prosiding-ISCSTSI-2020-FULL-Versi.pdf#page=69>
- Solà, C., Burgos, M., Plazuelo, Á., Toja, J., Plans, M., y Prat, N. (2004). Heavy metal bioaccumulation and macroinvertebrate community changes in a Mediterranean stream affected by acid mine drainage and an accidental spill (Guadiamar River, SW Spain). *Science of The Total Environment*, 333(1), 109-126. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.05.011>
- Sorour, J. (2001). Ultrastructural Variations in *Lethocerus niloticum* (Insecta: Hemiptera) Caused by Pollution in Lake Mariut, Alexandria, Egypt. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 48(3), 268-274. <https://doi.org/10.1006/eesa.2000.2003>
- Spahn, S. A., y Sherry, T. W. (1999). Cadmium and lead exposure associated with reduced growth rates, poorer fledging success of little blue heron chicks (*Egretta caerulea*) in South Louisiana wetlands. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 37, 377-384.
- Spyra, A., y Krodkiewska, M. (2014). The significance of woodland ponds in the conservation of rare species: A case study of *Placobdella costata* (F. Müller) (Hirudinida: Glossiphoniidae). *Polish Journal of Ecology*, 61(3), 613-619.

- Standen, K. M., Chambers, P. A., y Culp, J. M. (2018). Arrowhead (*Sagittaria cuneata*) as a bioindicator of nitrogen and phosphorus for prairie streams and wetlands. *Wetlands Ecol Manage*, 26, 331-343.
- Struck, T. H., Paul, C., Hill, N., Hartmann, S., Hösel, C., Kube, M., Lieb, B., Meyer, A., Tiedemann, R., Purschke, G., y Bleidorn, C. (2011). Phylogenomic analyses unravel annelid evolution. *Nature*, 471(7336), 95-98. <https://doi.org/10.1038/nature09864>
- Suárez González, L. F. (2017). Reptiles y anfibios como bioindicadores para implementar en estudios de impacto ambiental y planes de manejo ambiental. *Universidad Militar Nueva Granada*, 16.
- Subramanian, K. A. (2005). *Dragonflies and Damselflies of Peninsular India-A Field Guide* (E-Book of Project Lifescape). Centre for Ecological Sciences, Indian Institute of Science and Indian Academy of Sciences. https://www.ias.ac.in/public/Resources/Other_Publications/Overview/Dragonflies/odonates_damselflies.pdf
- Sueb, S., Shofiyah, A., Al-Muhdhar, M. H. I., y Yanuwidi, B. (2021). Quality of brantas River based on the existence of macrozoobentos through biotilik methods. *AIP Conference Proceedings*, 2353(1), 030121. <https://doi.org/10.1063/5.0052791>
- Suheriyanto, D., Harianie A.R., L., y Suyono. (2012). *Diversity of Aquatic Biota as Bioindicator for Water Quality of Ranu Pani and Ranu Regulo*. 61-64. <http://repository.uin-malang.ac.id/3693/7/3693.pdf>
- Swanson, D. R., y Bilger, E. E. (2021). Three Aquatic True Bugs (Hemiptera: Heteroptera) Newly Reported in Illinois, with Keys to *Hesperocorixa* (Corixidae) and Notonectidae of Illinois. *Entomological News*, 130(1), 1-18. <https://doi.org/10.3157/021.130.0101>
- Syahrial, Desrita, y Ezraneti, R. (2021). *Littoraria* spp. Snail (Mollusca: Gastropoda) as a Bioindicator in The Mangrove Ecosystem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 695(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/695/1/012008>
- Tagliaferro, M. (2020). Uso de peces y macrófitas como indicadores. En E. Domínguez, A. Giorgi, y N. Gómez, *La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina*. Editorial Universitaria de Buenos Aires. <https://www.ilpla.edu.ar/prueba/wp-content/uploads/2021/07/Libro-Completo-Rem-Aqua.pdf#page=216>
- Taylor, D. W. (2003). View of Introduction to Physidae (Gastropoda: Hygrophila); biogeography, classification, morphology. *Revista de Biología Tropical*, 51(1), 1-287.
- Tchakonté, S., Ajeegah, G., Nyamsi, N. L., Tchatcho, N., Camara, A., Diomandé, D., y Ngassam, P. (2015). Stream's water quality and description of some aquatic species of Coleoptera and Hemiptera (Insecta) in Littoral Region of Cameroon. *Biodiversity Journal*, 6, 27-40.
- Tello, P., Jerez, V., y Olmos, V. (2007). Sanguijuelas (Hirudinea: Glossiphoniidae) asociadas a *Cryphiops caementarius* (Decapoda: Palaemonidae) del Río Limarí, Chile. *Revista de Biología Tropical*, 55(1), 255-260.
- Tenjo Morales, A., y Cárdenas Castro, E. (2015). Importancia y utilidad de los bioindicadores acuáticos. *Biodiversidad Colombia*, 1(5), 36-48.
- Tennessen, K. (2019). Libellulidae. En K. J. Tennessen (Ed.), *Dragonfly Nymphs of North America: An Identification Guide* (pp. 407-576). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97776-8_12
- Thorp, J. H., y Covich, A. P. (2009). *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates* (3.^a ed.). Academic Press.

- Thorp, J. H., y Rogers, D. C. (2015). Chapter 24—Introduction to the Phylum Arthropoda. En J. H. Thorp y D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (Fourth Edition)* (pp. 591-597). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385026-3.00024-3>
- Thorp, J. H., y Rogers, D. C. (2016). Chapter 11—Phylum Mollusca. En *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates Keys to Nearctic Fauna* (4.^a ed., Vol. 1, pp. 189-221). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123850287/thorp-and-covichs-freshwater-invertebrates#book-info>
- Tollett, V. D., Benvenuti, E. L., Deer, L. A., y Rice, T. M. (2009). Differential Toxicity to Cd, Pb, and Cu in Dragonfly Larvae (Insecta: Odonata). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56(1), 77-84. <https://doi.org/10.1007/s00244-008-9170-1>
- Torres Olvera, M. J., Durán Rodríguez, O. Y., Torres García, U., Pineda López, R., y Ramírez Herrejón, J. P. (2018). Validation of an index of biological integrity based on aquatic macroinvertebrates assemblages in two subtropical basins of central Mexico. *Latin american journal of aquatic research*, 46(5), 945-960. <https://doi.org/10.3856/vol46-issue5-fulltext-8>
- Treviño Rodríguez, J. G. (2022). *Belostomatido*. Etimologías de Chile - Diccionario que explica el origen de las palabras. <http://etimologias.dechile.net/?belostoma.tido>
- Trujillo Jiménez, P., y Toledo Beto, H. (2007). Alimentación de los peces dulceacuícolas tropicales *Heterandria bimaculata* y *Poecilia sphenops* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). *Revista de Biología Tropical*, 55(2), 603-615.
- Udagedara, S., y Kularatne, H. (2015). A new record of *Indolestes divisus* (Hagen, 1862) from Kegalle District, Sri Lanka (Odonata: Lestidae). *Notulae odonatologicae*, 8(5), 117-155. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27160.29441>
- UICN, y BRIDGE. (2018). *Cuenca hidrográfica* [Folleto]. https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/cuenca_hidrografica.pdf
- Vázquez Silva, G., Castro, G., Mora, I., Rodríguez, R., y Barrera, T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *Revista ContactoS*, 60, 41-48.
- Vázquez Silva, G., Castro Mejía, G., Castro Barrera, T., Castro Majía, J., y De Lara Andrade, R. (2011). Fishes as water quality indicators recorded in Apatlaco and Amacuzac rivers, Morelos, México. *Revista Digital E-BIOS*, 1(1), 27-34.
- Vega, R. S. A., Capitan, S. S., Lambio, A. L., Garcia, B. R., y Rivero, H. I. (2011). Journal of Environmental Science and Management. *Journal of Environmental Science and Management*, 14(2), 21-27.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., y Umaña, A. M. (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad*. (2.^a ed.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Villastrigo Carbajo, A. (2019). *Macroevolutionary patterns of habitat transitions in aquatic Coleoptera* [Tesis de Doctorado, Universidad de Barcelona]. <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/147738>
- Viteri-Garcés, M., Chalen Medina, J. A., y Cevallos Revelo, Z. L. (2017). Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba. *Dominio de las Ciencias*, 3(3), 628-646.
- Wakefield, T. S. (2017). Persistence of Urban Stream Syndrome Effects from Point Source and Non-Point Source Pollutants. *Journal of the Arkansas Academy of Science*, 71(22). <https://doi.org/10.54119/jaas.2017.7123>

- Webb, R. (1980). *Reptilia: Squamata: Serpentes: Culubridae Colubridae. Thamnophis cyrtopsis*. Catalogue of American Amphibians and Reptiles. https://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/45164/0245_Thamnophis_cyrtopsis.pdf?sequence=1
- Wethington, A. R. (2004). Family Physidae. En *A supplement to the workbook accompanying the FMCS Freshwater Identification Workshop* (p. 24). University of Alabama. https://fwgna.org/downloads/Amys_Physidae_Supplement.pdf
- Williams, D. D., y Williams, N. E. (1998). Aquatic insects in an estuarine environment: Densities, distribution and salinity tolerance. *Freshwater Biology*, 39(3), 411-421. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1998.00285.x>
- Wolfe, J. D., Lane, O. P., Brigham, R. M., y Hall, B. D. (2018). Mercury exposure to red-winged blackbirds (*Agelaius phoeniceus*) and dragonfly (Odonata: Aeshnidae) nymphs in Prairie Pothole wetlands. *FACETS*, 3(1), 174-191. <https://doi.org/10.1139/facets-2017-0086>
- Woodley, N. E. (1989). 33. Family Stratiomyidae. En *Catalog of the Diptera of Australasian and Oceania* (Vol. 86, pp. 301-320). Bishop Museum Special Publication. <http://hbs.bishopmuseum.org/aocat/pdf/33strat.pdf>
- Xing, W., Han, Y., Guo, Z., y Zhou, Y. (2020). Quantitative study on redistribution of nitrogen and phosphorus by wetland plants under different water quality conditions. *Environmental Pollution*, 261, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114086>
- Xu, M., Wang, Z., Duan, X., y Pan, B. (2014). Effects of pollution on macroinvertebrates and water quality bio-assessment. *Hydrobiologia*, 729(1), 247-259. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1504-y>
- Yee, D. A. (2014). *Ecology, Systematics, and the Natural History of Predaceous Diving Beetles (Coleoptera: Dytiscidae)* (1.^a ed.). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-017-9109-0?noAccess=true#about>
- Yee, D. A., y Kehl, S. (2015). Hydrophilidae. En J. H. Thorp y D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates: Ecology and General Biology* (4.^a ed.). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/hydrophilidae>
- Yoon, J., Nam, J. M., Kim, H., Bae, Y. J., y Kim, J. G. (2010). Nannophya pygmaea (Odonata: Libellulidae), an Endangered Dragonfly in Korea, Prefers Abandoned Paddy Fields in the Early Seral Stage. *Environmental Entomology*, 39(2), 278-285. <https://doi.org/10.1603/EN09103>
- Zamora Muñoz, C., Sáinz Cantero, C. E., Sánchez Ortega, A., y Alba Tercedor, J. (1995). Are biological indices BMPW' and ASPT' and their significance regarding water quality seasonally dependent? Factors explaining their variations. *Water Research*, 29(1), 285-290. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)E0125-P](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)E0125-P)
- Zapata Sierra, A. J. (2020). *Hidrología Agrícola* (110.^a ed.). Universidad Almería. <https://books.google.com.mx/books?hl=esylr=yid=TKnmDwAAQBAJyoi=fndypg=PP2ydq=hidrologia+agricola+zapata+sierrayots=ACC3pqZGsVysig=sQXW4gRlo5aELhY7yHKHRA6eP0E#v=onepageyq=hidrologia%20agricola%20zapata%20sierrayf=false>
- Zhen Wu, B. Y. (2009). *Calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008*. [Maestría en Manejo de Recursos Naturales, Universidad Estatal a Distancia, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales]. https://www.uned.ac.cr/ecologiaurbana/images/pdf/Tesis_BiYun_Zhen.pdf

Zinchenko, T. D., y Golovatyuk, L. V. (2013). Salinity Tolerance of Macroinvertebrates in Stream Waters (Review). *Arid Ecosystems*, 3(3), 113-121.

Zukowski, S., y Walker, K. F. (2009). Freshwater snails in competition: Alien *Physa acuta* (Physidae) and native *Glyptophysa gibbosa* (Planorbidae) in the River Murray, South Australia. *Marine and Freshwater Research*, 60(10), 999-1005. <https://doi.org/10.1071/MF08183>

ANEXO

Tabla 18: Ilustración de las familias de macroinvertebrados encontradas que posiblemente funcionen como bioindicadoras dentro del humedal de El Charco del Ingenio.











CLASE	FAMILIA	LARVA/NINFA	ADULTO
Insecta	Aeshnidae	 Foto: Silva, 2022	
Insecta	Baetidae	 Foto: Silva, 2022	
Insecta	Belostomatidae	 Foto: Silva, 2022	
Insecta	Caenidae	 Foto: Silva, 2022	
Insecta	Ceratopogonidae		

Tabla 18: Ilustración de las familias de macroinvertebrados encontradas que posiblemente funcionen como bioindicadoras dentro del humedal de El Charco del Ingenio.









CLASE	FAMILIA	LARVA/NINFA	ADULTO
Insecta	Chironomidae		
Insecta	Coenagrionidae	 <p data-bbox="760 932 911 957">Foto: Silva, 2022</p>	
Insecta	Corixidae	 <p data-bbox="760 1264 911 1289">Foto: Silva, 2022</p>	
Insecta	Culicidae		

Tabla 18: Ilustración de las familias de macroinvertebrados encontradas que posiblemente funcionen como bioindicadoras dentro del humedal de El Charco del Ingenio.











CLASE	FAMILIA	LARVA/NINFA	ADULTO
Insecta	Dytiscidae		
Insecta	Gyrinidae		
Insecta	Hydrophilidae		 Foto: (NaturaLista Mexico, 2019a)
Insecta	Lestidae	 Dorsal View © 2006 Chironomidae Research Group	
Insecta	Libellulidae		

Tabla 18: Ilustración de las familias de macroinvertebrados encontradas que posiblemente funcionen como bioindicadoras dentro del humedal de El Charco del Ingenio.














CLASE	FAMILIA	LARVA/NINFA	ADULTO
Insecta	Notonectidae		
Insecta	Pleidae	 Foto: Silva, 2022	
Insecta	Stratiomyidae		
Crustacea	Cambaridae		
Crustacea	Gammaridae		 Foto: Silva, 2022

Tabla 18: Ilustración de las familias de macroinvertebrados encontradas que posiblemente funcionen como bioindicadoras dentro del humedal de El Charco del Ingenio.

CLASE	FAMILIA	LARVA/NINFA	ADULTO
Mollusca	Hydrobiidae		
Mollusca	Physidae		 <p data-bbox="1154 936 1308 961">Foto: Silva, 2022</p>
Mollusca	Valvatidae		 <p data-bbox="1045 1203 1198 1228">Foto: Silva, 2022</p> <p data-bbox="1247 1203 1399 1228">Foto: Silva, 2022</p>
Annelida	Glossiphoniidae		
Annelida	Hirudinidae		

ANEXO

Tabla 19: Ilustración de las especies encontradas que posiblemente fungen como bioindicadores dentro del humedal de El Charco del Ingenio.








	Especie	Foto
Planta acuática	<i>Lemna gibba</i>	 <p style="text-align: center;">Foto: (NaturaLista Mexico, 2013b)</p>
Planta acuática	<i>Ludwigia peploides</i>	 <p style="text-align: center;">Foto: (NaturaLista Mexico, 2018)</p>
Pez	<i>Heterandria bimaculata</i>	 <p style="text-align: center;">Foto: (NaturaLista Mexico, 2016)</p>
Pez	<i>Poeciliopsis infans</i>	 <p style="text-align: center;">Foto: (NaturaLista Mexico, 2019b)</p>

Tabla 19: Ilustración de las especies encontradas que posiblemente fungen como bioindicadores dentro del humedal de El Charco del Ingenio.

<p>Ave</p>	<p><i>Anas platyrhynchos diazi</i></p>	 <p>Foto: Salas, 2020</p>
<p>Ave</p>	<p><i>Fulica americana</i></p>	 <p>Foto:Silva, 2022</p>
<p>Reptil</p>	<p><i>Thamnophis cyrtopsis</i></p>	 <p>Foto: (NaturaLista Mexico, 2013a)</p>



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00096

Matrícula: 2193801920

Determinación de bioindicadores de calidad del agua del humedal de "El charco del Ingenio" San Miguel Allende, Guanajuato.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 12:00 horas del día 24 del mes de octubre del año 2022 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. ALEJANDRO FEDERICO ALVA MARTINEZ
M. EN C. MARIO ARTURO HERNANDEZ PEÑA
MTRA. MARIA DEL CARMEN HERRERA FUENTES

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretaria la última, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS (ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE)

DE: ANA PATRICIA CASTILLO SANCHEZ

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

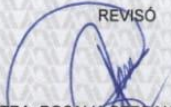
Aprobar

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.



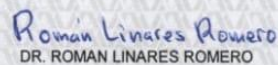

ANA PATRICIA CASTILLO SANCHEZ
ALUMNA

REVISÓ




MTRA. ROSALIA SERRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBI



DR. ROMAN LINARES ROMERO

PRESIDENTE



DR. ALEJANDRO FEDERICO ALVA MARTINEZ

VOCAL



M. EN C. MARIO ARTURO HERNANDEZ PEÑA

SECRETARIA



MTRA. MARIA DEL CARMEN HERRERA FUENTES