

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL
POR INVESTIGACIÓN


PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

“Análisis de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos
de la Zona Lacustre de Xochimilco y su relación con la
calidad del agua durante los años 2017-2019”

QUE PRESENTA EL ALUMNO:

Alonso Tonalmitzin Yáñez Álvarez

ASESORAS:

Dra. Gabriela Vázquez Silva (30288) 
Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura, UAM Xochimilco

Biol. Ana Karen López de la Rosa (No. de Cédula 12194410) 
Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura, UAM Xochimilco -VoBo

RESUMEN

La Zona Lacustre de Xochimilco (LZX) es hábitat de numerosas especies endémicas y que provee servicios ecosistémicos. Sin embargo, se ha visto afectada por la introducción de especies exóticas, reducción del hábitat, pérdida de la vocación del uso de suelo y deterioro de su calidad del agua, resultando en un impacto a la salud del ecosistema y en las especies nativas. Dado lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad del agua de canales de Xochimilco y Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco, durante los años 2017 a 2019, a partir de análisis de datos de abundancia y diversidad de macroinvertebrados bentónicos que habitan dichos cuerpos de agua. El estudio se realizó en dos áreas, el Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco (LCSGA) y en los Canales de Xochimilco. La identificación de las especies de macroinvertebrados se realizó por medio del registro fotográfico. Se calcularon los índices de diversidad alfa y beta, el índice biótico Biological Monitoring Working (BMWP) e Índice Biótico de Familias (IBF) para estimar el grado de contaminación del agua y se determinaron los gremios tróficos. Se identificaron un total de 1, 804 macroinvertebrados en la Zona Lacustre de Xochimilco, siendo el orden Odonata y Hemíptera los más diversos para el LCSGA y en los Canales de Xochimilco. El gremio predominante fueron los depredadores y en menor medida los colectores. Los parámetros fisicoquímicos registrados sugieren que la calidad del agua del LCSGA y los Canales de Xochimilco es entre aceptable y buena en general. Sin embargo, los índices bióticos utilizados BMWP e IBF indican que el LCSGA presenta contaminación del agua. Mientras que, los Canales de Xochimilco, presentan contaminación moderada. El uso de macroinvertebrados es una herramienta viable y económica que complementa la información obtenida por los parámetros fisicoquímicos para poder realizar un diagnóstico más completo sobre la calidad del agua en la Zona Lacustre de Xochimilco y conocer el estado en el que se encuentra el hábitat para las diferentes especies nativas de la Zona.

Palabras clave: índices bióticos, gremios tróficos, macroinvertebrados, parámetros fisicoquímicos

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	MARCO TEÓRICO	4
	2.1 Macroinvertebrados bentónicos	4
	2.2 Macroinvertebrados en Xochimilco	6
	2.3 Estudios de bioindicadores en la Zona Lacustre de Xochimilco.....	6
	2.4 Índices bióticos para evaluar la calidad del agua	8
	2.5 Propiedades fisicoquímicas del agua.....	8
3	PREGUNTAS CLAVE	10
4	HIPÓTESIS	10
5	OBJETIVO GENERAL	11
6	OBJETIVOS PARTICULARES	11
7	METODOLOGÍA	11
	7.1 Área de Estudio	11
	7.2 Identificación de Macroinvertebrados.....	14
	7.3 Análisis de la diversidad alfa (α).....	14
	7.4 Análisis de Gremios Tróficos	16
	7.5 Análisis de Agrupación	16
	7.6 Análisis de Ordenación	17
	7.7 Análisis de la calidad del agua.....	17
8	RESULTADOS	19
	8.1 Identificación de macroinvertebrados.....	19
	8.1.1. Breve descripción de los macroinvertebrados registrados en la Zona Lacustre de Xochimilco.	26
	8.2 Índices de diversidad y gremios tróficos	33
	8.3 Análisis de Agrupación	37
	8.4 Análisis de Ordenación	39
	8.5 Identificación de especies bioindicadoras.....	43
	8.6 Caracterización del hábitat.....	43
	8.7 Análisis fisicoquímico de la calidad del agua	49
	8.8 Análisis biótico de la calidad del agua.....	52
8	DISCUSIÓN	54
9	CONCLUSIÓN	59
10	REFERENCIAS	60

1 INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de agua son uno de los recursos naturales más importantes con los que cuenta la República Mexicana, pues se estima que el 77% del volumen de agua disponible en México es destinado al riego; 14% al uso urbano y 9% a las industrias y termoeléctricas; al menos 61.3% de esta agua proviene de fuentes superficiales como ríos, lagos, arroyos y el 38.7% restante corresponde a fuentes subterráneas (Bezaury-Creel *et al.*, 2017); sin embargo, la calidad del agua se ha visto afectada por la actividad antropogénica derivada de la actividad industrial, agropecuaria y doméstica. Por lo anterior, la protección, conservación y la restauración ecológica en México, son prioritarias (Bezaury-Creel *et al.*, 2017).

Para conocer el grado de alteración que ha sufrido un cuerpo de agua, así como el grado de influencia que tienen las variables fisicoquímicas en la vida acuática se requiere de análisis de las variables fisicoquímicas, así como de estudios de la composición faunística, los cuales aportan información referente al estado en el que se encuentran las especies en el tiempo (Orozco *et al.*, 2005; Samboni-Ruíz *et al.*, 2007). El análisis de los parámetros fisicoquímicos de un cuerpo de agua suele ser rápido, y puede ser monitoreado con frecuencia (Domínguez Granda *et al.*, 2005; Samboni-Ruíz *et al.*, 2007). Por otro lado, existen distintos grupos de especies acuáticas que son sensibles o poseen un grado de tolerancia a diversos tipos de contaminantes y responden tanto a cambios naturales como antropogénicos, ya que tienen límites de tolerancia específicos ante diferentes alteraciones de su hábitat (Bonada, 2006; Arroyo y Encalada, 2009). Estos van desde especies unicelulares como las microalgas, vertebrados como los peces, hasta los más utilizados como bioindicadores de la calidad del agua como los macroinvertebrados bentónicos, debido a que pueden dar un diagnóstico a largo plazo, pues su estudio puede mostrar las tendencias de cambio a través del tiempo (De Pauw y Hawkes, 1994; Hurtado *et al.*, 2005; De la Lanza *et al.*, 2000; Springer, 2010).

La Zona Lacustre de Xochimilco en la Ciudad de México alberga una gran cantidad de especies endémicas y provee de servicios ecosistémicos como la regulación de aguas superficiales que evitan inundaciones, recarga de acuíferos y generación de

humedad y aire limpio para el sur de la Ciudad de México, por lo que representa un área de gran relevancia, histórica, cultural, económica y biológico-ecológica (Bojórquez y Arana, 2014). Sin embargo, se ha visto afectada por la introducción de especies exóticas como la carpa y la tilapia, reducción del hábitat, pérdida de la vocación del uso de suelo, el reciente deterioro en su calidad del agua por el aporte de contaminantes químicos vertidos por las plantas de tratamiento de aguas residuales del Cerro de la Estrella y San Luis Tlaxialtemalco, así como la ausencia de conexión a la red de alcantarillado de viviendas aledañas y el escurrimiento de terrenos urbanizados o con actividades agropecuarias, resultando en un impacto a la salud del ecosistema y sus especies nativas (Bojórquez y Arana, 2014; Gonzáles *et al.*, 2014; Bojórquez, 2017). Dado lo anterior, el objetivo del presente trabajo es analizar la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y su relación con los parámetros fisicoquímicos del agua de la Zona Lacustre de Xochimilco a partir de una base de datos histórica de 2017 a 2019, para así conocer el estado actual de la composición de macroinvertebrados y su calidad del agua. Se resalta, además, que la elaboración del presente trabajo se llevará en su totalidad desde casa, manteniendo la comunicación y la búsqueda de referencias de manera virtual.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Macroinvertebrados bentónicos

El término invertebrado es usado, de forma tradicional y conveniente, para referirse a todo aquel animal que no posee columna vertebral (Brusca y Brusca, 2003). Por lo que en el grupo de los macroinvertebrados se incluyen los organismos sin columna vertebral que se pueden observar a simple vista, es decir, todos aquellos que tienen tamaños superiores a 0.5 mm de largo, pero habitualmente mayores a 3 mm, dentro de esta categoría están los poríferos, hidozoos, turbelarios, oligoquetos, hirudíneos, insectos, arácnidos, crustáceos, gasterópodos y los bivalvos (Roldán-Pérez, 1992; Brusca y Brusca, 2003).

Los macroinvertebrados pueden encontrarse en ambientes terrestres o acuáticos y en éstos últimos se distinguen dos grupos, aquellos que habitan la columna de agua (organismos pelágicos) y los habitantes del fondo de los cuerpos

de agua (organismos bentónicos) (Brusca y Brusca, 2003). Dentro de los organismos pelágicos aún se diferencian en tres grupos, dependiendo de la posición en la columna de agua en la que habitan: el neuston, grupo que incluye aquellos organismos que viven sobre la superficie del agua, sus patas y su exoesqueleto se encuentran recubiertos por una sustancia cerosa que los hace impermeables; el necton, está conformado por todos aquellos organismos que nadan libremente en el agua; y el perifiton es una comunidad que se aloja en la vegetación alrededor del agua (Roldán-Pérez, 2003). Los organismos bentónicos se encuentran comúnmente adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos similares, debido a que son generalmente sedentarios (Roldán-Pérez, 2003; Brusca y Brusca, 2003).

Una especie se denomina como indicadora después de que se estudia a profundidad su composición comunitaria bajo condiciones normales, de manera que sea posible comparar sus condiciones en presencia de una perturbación ambiental. Los cambios que presenta una especie bioindicadora en su comunidad resultan de su sensibilidad o tolerancia a cambios en parámetros del ambiente (Vázquez-Silva *et al.*, 2006).

Los macroinvertebrados bentónicos de aguas continentales son valiosos bioindicadores de estos ambientes, particularmente, por su presencia taxonómica siendo el grupo de los insectos el más grande, presentan ventajas como una amplia distribución en los ecosistemas acuáticos, la mayoría son de naturaleza sedentaria, tienen ciclos de vida relativamente largos y bien estudiados, son extremadamente sensibles a cambios ambientales, son fáciles de muestrear en campo, se tiene un amplio conocimiento taxonómico de muchos de sus grupos, así como el extenso número de métodos para analizar los datos que se obtienen de ellos, como índices bióticos y de diversidad (Bonada, 2006; Vázquez-Silva *et al.*, 2006; Arroyo y Encalada, 2009), por lo que se han convertido en una herramienta óptima para la evaluación de la calidad del agua (Roldán-Pérez, 2016) .

2.2 Macroinvertebrados en Xochimilco

En los humedales de Xochimilco se encuentran una gran variedad de artrópodos, principalmente de las clases crustácea e insecta, de los que se puede destacar la presencia de órdenes como: Amphipoda, Arguloida, Coleoptera, Decapoda, Diptera, Ephemeroptera, Entomobryomorpha, Hemíptera, Isopoda y Odonata (Merlo-Galeazzi, 2014; Zambrano *et al.*, 2014; Vázquez-Silva *et al.*, 2017). Se ha destacado también que la riqueza de especies de macroinvertebrados bentónicos es mayor en los canales de Xochimilco, en comparación con la presentada en el Lago de San Gregorio Atlapulco; además, en un reciente estudio, la única especie tolerante a la contaminación que se identificó fue una especie de *Argulus sp* (Vázquez-Silva *et al.*, 2017).

2.3 Estudios de bioindicadores en la Zona Lacustre de Xochimilco

En un estudio realizado por Quiroz-Flores *et al.* (2008) sobre la relación del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y algunas variables fisicoquímicas del agua en canales secundarios de Xochimilco, se encontró que la presencia del lirio acuático disminuye significativamente el pH, la temperatura subsuperficial y los niveles de oxígeno disuelto, propiciando que los compuestos químicos más oxidados tengan una tendencia a reducirse y por lo tanto disminuir los niveles de nitratos, aumentando así los de amonio.

Merlo-Galeazzi (2014) determinó la influencia de los parámetros fisicoquímicos en la comunidad de macroinvertebrados de los canales de Xochimilco y en el humedal de San Gregorio Atlapulco en dos temporadas (lluvias y secas). Registrando 5931 macroinvertebrados pertenecientes a las familias Talitridae, Erpobdellidae, Cambaridae, Asellidae, Physidae, Lymnaeidae, Chironomidae, Coenagrionidae, y Glossiphoniidae, y dos géneros de la familia Culicidae (*Culex sp.* y *Culiseta sp.*), tres géneros de la familia Hydrophilidae (*Tropisternus*, *Paracymus*, *Enochrus*) y de la familia Dystiscidae tres géneros (*Rhantus*, *Thermonectus*, *Laccophilus* y *Cybister*). De acuerdo con el índice Biótico de Familia (IBFM), la zona de Xochimilco obtuvo un valor de 7.76, lo que significa una calidad del agua muy pobre y con contaminación orgánica muy significativa a

severa en las dos temporadas, mientras el humedal de San Gregorio Atlapulco en la temporada de lluvias tuvo una calidad de agua pobre con contaminación orgánica muy significativa y en temporada de secas una calidad de agua moderadamente pobre, con contaminación orgánica significativa. Concluyendo que las propiedades de la comunidad de macroinvertebrados referente a su funcionamiento (densidad, biomas y porcentaje de depredadores) están relacionados con los parámetros fisicoquímicos, mientras que la riqueza y diversidad de la comunidad no lo están. Pero no existe una concordancia temporal en los cambios fisicoquímicos y las comunidades de macroinvertebrados.

Buendía-Flores *et al.* (2015) realizaron un estudio sobre la florística y ecología de diatomeas bentónicas de la Zona Lacustre de Xochimilco-Tláhuac. En su trabajo, encontraron especies típicas de cuerpos de agua someros y eutróficos como *Nitzschia frustulum*, *Pseudostaurosira brevistriata*, *Fragilaria bidens*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Fragilariforma virescens*, *Staurosira construens*, *Staurosirella leptostauron* y *S. pinnata*. Los autores correlacionaron estadísticamente la riqueza de las especies de diatomeas con la variación de sílice ($P \leq 0.05$) y el pH ($P \leq 0.01$), concluyendo que la riqueza de diatomeas puede ser utilizada como bioindicadora de algunos aspectos de la calidad del agua.

Un estudio sobre la ictiofauna del Lago de San Gregorio Atlapulco y canales de Xochimilco realizado por Vázquez-Silva *et al.* (2017), se indicó la presencia de 4 especies en el Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco, con una mayor abundancia de la tilapia *Oreochromis* sp. (60%), y del mexcalpique *Girardinichthys viviparus* (36%) y 9 en los canales de Xochimilco. El mismo estudio reportó algunos macroinvertebrados como fauna de acompañamiento. En el Lago de Conservación encontraron dos macroinvertebrados del orden Odonata (*Aeshna* sp. y *Enallagma* sp.), y uno del orden Coleoptera (*Cyblester* sp.), especies que al ser capaces de habitar en ambientes contaminados como en hábitats con buena calidad de agua son considerados facultativos. En los 3 canales muestreados de Xochimilco se encontraron un total de 7 especies diferentes de macroinvertebrados, incluyendo las tres ya mencionadas: del orden Coleoptera a *Gyrinus* sp.; del orden Hemiptera

al *Lethocerus* sp. y *Notonecta* sp.; y del orden Arguloidea a *Argulus* sp. De dichas especies sólo *Gyrinus* sp. y *Notonecta* sp. son especies intolerantes a la contaminación, mientras que la especie tolerante *Argulus* sp. fue considerada como posible bioindicador. Los autores concluyen que las condiciones de la calidad del agua del lago son más favorables para la vida acuática a diferencia de los canales.

2.4 Índices bióticos para evaluar la calidad del agua

Existen diversos índices que se usan exclusivamente para evaluar la calidad del agua (De la Lanza *et al.*, 2000) cuando se usan a los macroinvertebrados como bioindicadores a partir de su identificación y abundancia, los cuales corresponden a sus particulares grados de sensibilidad o tolerancia a la contaminación como son:

- Índice Biótico de Beck (1954)
- Índice de Goodnight y Whitley (1960)
- Índice de Brinkhurst (1966)
- Índice de Cairns (1971)
- Índice de Hilsenho (1977)
- Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) (1978)
- Asociación de poblaciones de Wilhelm (1979)
- Índice de Macroinvertebrados Bentónicos (1988)

2.5 Propiedades fisicoquímicas del agua

Las variables fisicoquímicas tienen incidencia directa sobre las condiciones de la calidad del agua y como consecuencia en la vida de los organismos que habitan el lugar. Al incrementar la temperatura, por ejemplo, disminuye la solubilidad de gases y aumenta la cantidad de sales, acelerando así la putrefacción de la materia orgánica lo que modifica la distribución espacial y temporal de los organismos acuáticos (Galvín, 2005; Mejía, 2010).

Otra variable relevante para los organismos acuáticos es la transparencia, que va disminuyendo con la profundidad. Ésta se mide en función de las partículas en suspensión no disueltas; a menor cantidad de partículas disueltas, más clara y de mejor calidad es el agua (Aragón, 2014). El parámetro antagónico a este es la

turbidez, que indica la falta de transparencia en el agua debido a la presencia de sólidos disueltos (Aragón, 2014; Galvín, 2005).

El potencial de Hidrógeno (pH), por otro lado, tiende a encontrarse en valores cercanos a 7, lo que indica aguas contaminadas, por lo que el valor del pH en cuerpos de agua se debe encontrar entre 6.5 y 8.0 para ser considerada de buena calidad (Galvín, 2005).

Los valores normales de oxígeno disuelto en el agua suelen ser de 7.0 a 8.0 mg/L, si el valor de oxígeno disuelto de un cuerpo de agua es menor sugiere que existe una alta demanda química o bioquímica de oxígeno, lo indica contaminación por materia orgánica y por ende mala calidad del agua (Galvín, 2005; Mejía, 2010).

Los niveles de los compuestos nitrogenados están fuertemente relacionados con los procesos de acidificación y eutrofización en cuerpos de agua al presentarse en niveles elevados; los niveles de nitritos no deben superar 0.100 mg/L, mientras que nitratos no debe ser mayor a 10 mg/L (Galvín, 2005; Camargo y Alonso, 2007). Cabe mencionar, que los animales acuáticos normalmente están mejor adaptados a niveles relativamente bajos de nitrógeno inorgánico, por lo que en altas concentraciones puede resultar tóxico para las especies acuáticas (Camargo y Alonso, 2007).

El amonio es uno de los componentes transitorios en el agua, parte del ciclo del nitrógeno y está influenciado por la actividad biológica, el pH y temperatura del agua (Sardiñas y Pérez, 2004; Camargo y Alonso, 2007). Niveles altos de este parámetro están relacionados con descargas de desagües (Mejía, 2010), y sugieren un aumento en los valores de pH y la temperatura, indicando contaminación; además, el amoniaco no ionizado es un compuesto muy tóxico, particularmente para la ictiofauna (Camargo y Alonso, 2007).

La cantidad de iones de calcio y magnesio reflejan la dureza del agua; su presencia en el agua es naturalmente debido al desgaste de conchas y del sustrato, pero también puede indicar presencia de detergentes. Se consideran aguas blandas (con baja dureza) cuando tienen un rango menor de 100 mg/L de estos iones; medianamente dura de 100 a 200 mg/L; y dura de 200 a 300 mg/L (Mejía 2010).

Los fosfatos son indispensables para el desarrollo de la vida acuática; sin embargo, un exceso de estos genera un ambiente eutrofizado por lo que los niveles no deben exceder de 0.1 - 1 mg/L, ya que si es mayor el agua se considera contaminada (Galvín, 2005; Mejía, 2010).

3 PREGUNTAS CLAVE

- ¿Qué grupos taxonómicos de macroinvertebrados bentónicos se encuentran en los canales de Xochimilco y el Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco?
- ¿Cómo está compuesta la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del área de estudio?
- ¿Qué gremios alimenticios de macroinvertebrados bentónicos se encuentran en el área de estudio?
- ¿Qué aspectos fisicoquímicos tienen relación más estrecha con los grupos taxonómicos de macroinvertebrados bentónicos en el área de estudio?
- ¿Cuáles son los macroinvertebrados bentónicos con capacidad bioindicadora presentes en el área de estudio?
- ¿Cuál es el estado de la calidad de agua del área de estudio?

4 HIPÓTESIS

En el Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco al ser un sitio de conservación, se podría presentar una mayor riqueza y abundancia de especies sensibles de macroinvertebrados bentónicos, mientras que, en los canales de Xochimilco, debido a la excesiva actividad antropogénica, la composición de macroinvertebrados bentónicos será menos diversa, lo que podría indicar una menor calidad del agua.

5 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua de canales de Xochimilco y Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco, durante los años 2017 a 2019, a partir de análisis de datos de abundancia y diversidad de macroinvertebrados bentónicos que habitan dichos cuerpos de agua, revisados desde casa de manera virtual.

6 OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar la riqueza y diversidad de macroinvertebrados bentónicos en la Zona Lacustre de Xochimilco y Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco en el periodo de 2017-2019.
- Identificar los gremios alimenticios de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en la Zona Lacustre de Xochimilco y Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco en el periodo de 2017-2019.
- Describir la variabilidad espacial de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de estudio.
- Relacionar la presencia de grupos de macroinvertebrados bentónicos con los parámetros fisicoquímicos en la Zona Lacustre de Xochimilco y Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco en el periodo de 2017-2019.
- Identificar a los macroinvertebrados bentónicos, presentes en la Zona Lacustre de Xochimilco y Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco durante 2017-2019, que funcionen como bioindicadores de la calidad del agua.
- Analizar la calidad del agua de las áreas de estudio durante 2017-2019 utilizando a los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores.

7 METODOLOGÍA

7.1 Área de Estudio

La Zona Lacustre de Xochimilco pertenece a la región del Pánuco, cuenca del río Moctezuma y subcuenca de lagos de Zumpango. El clima de la zona, de acuerdo con la clasificación de Köppen, es templado subhúmedo, con lluvias en

verano. La temperatura media anual varía entre 12 y 18 °C (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

El 7 de mayo de 1992 fue establecida el Área Natural Protegida (ANP) Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, con una superficie de 2522 ha (Figura 1). La mayor parte de esta corresponde a la zona de chinampas de producción agrícola de los pueblos de Xochimilco, San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxialtemalco (SEDEMA, 2012).

La ANP Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco cuenta con humedales de importancia internacional para su conservación, los cuales fueron declarados como sitios Ramsar en el año 2004. Estos humedales proveen de numerosos servicios ecosistémicos a la ciudad de México, como lo son la regulación del clima, la captación e infiltración del agua de lluvia, protección de suelo y mejoramiento de la calidad del aire (SEDEMA, 2012).

En 1908 se iniciaron obras hidráulicas para confinar el agua de los manantiales y posteriormente dio comienzo la explotación de acuífero mediante pozos artesianos, reduciendo considerablemente el volumen del agua, provocando en la década de los 50's la desecación casi total de lagos canales. Este hecho ocasionó un grave deterioro ambiental y social, llevando casi a la extinción al *Ambystoma mexicanum*, *Cambarellus montezumae*, y a la extinción permanente del *Chirostoma humboldtianum* y la almeja de Xochimilco (Bojórquez y Arana, 2014), poniendo en riesgo a la desaparición de la chinampería, afectando a la economía local y provocando la pérdida casi total de la cultura agrícola de los pueblos lacustres de Xochimilco y Tláhuac (SEDEMA, 2012).

El sistema lacustre se encuentra reducido a canales, apantles, lagunas permanentes y de temporal, cuya profundidad varía considerablemente, desde 60 cm en algunos canales y zonas inundadas, hasta profundidades de 3 a 6 metros, como en el caso de algunas lagunas. Se estima una longitud aproximada de 203 km de canales interconectados, entre los más importantes se encuentran los de Cuemanco, Nacional, Chalco, Del Bordo, Apatlaco, San Sebastián, Apampilco, Tezhuilo y Japón. Las lagunas principales son Tlilac, del Toro, Huetzalin, Apampilco,

Tezhuilo y el Lago de Conservación de Flora, Fauna y Acuacultura de San Gregorio Atlapulco (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

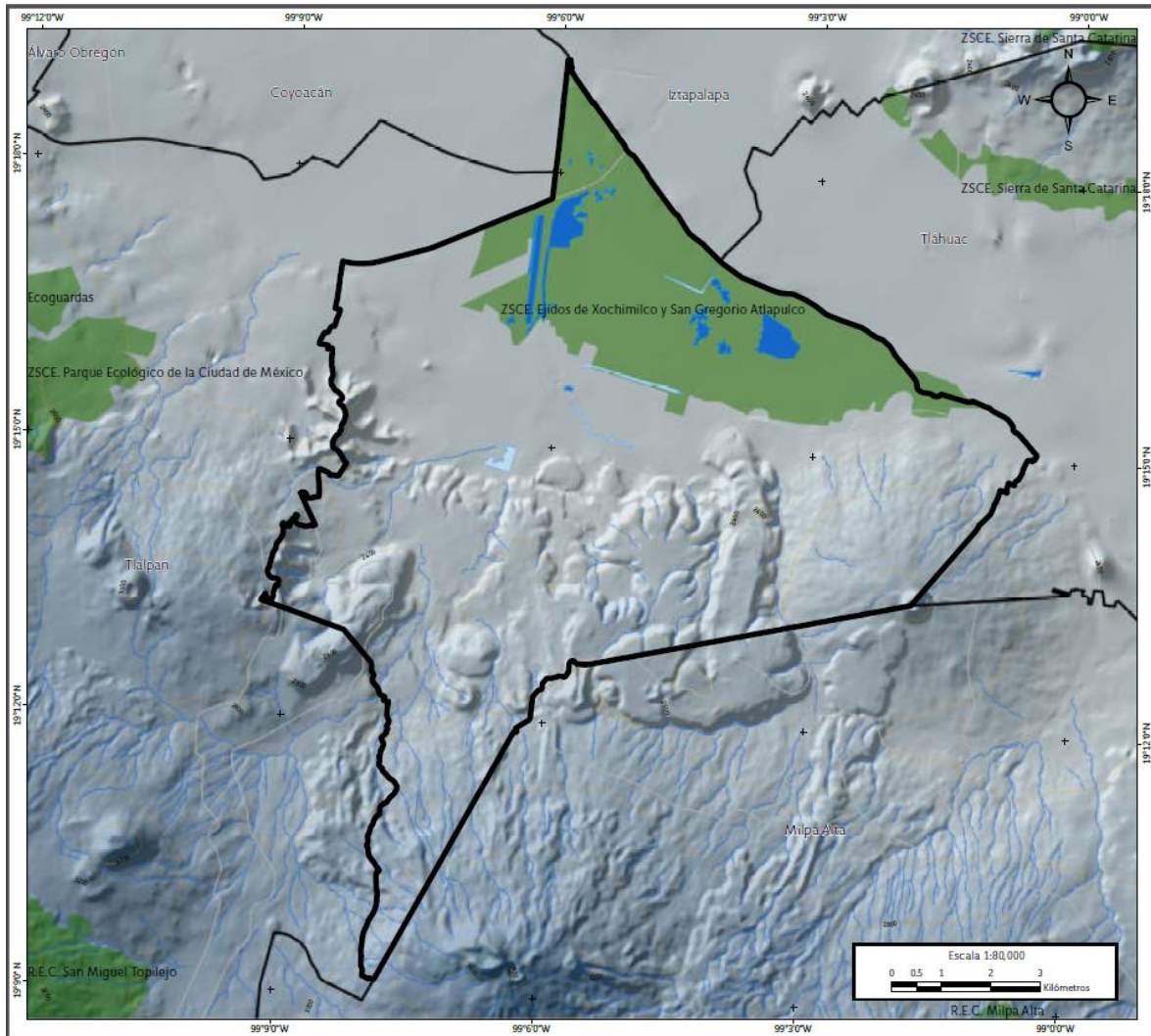


Figura 1. Mapa de las Áreas Naturales Protegidas de Xochimilco (fuente: Secretaría de Protección Civil, 2014).

Actualmente, los canales y lagunas son alimentados de manera artificial con aguas residuales tratadas de las plantas del Cerro de la Estrella, cuyo aporte aproximado es de $2.01 \text{ m}^3/\text{seg}$; la planta de San Luis Tlaxialtemalco, cuya capacidad de operación es de $0.060 \text{ m}^3/\text{seg}$ y un volumen de agua tratada mensual de $182,000 \text{ m}^3$, y la planta de San Lorenzo Tezonco, con una capacidad de operación de $0.035 \text{ m}^3/\text{seg}$ (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

El presente trabajo consiste en la estructuración y análisis de una base de datos de macroinvertebrados bentónicos y parámetros físicoquímicos tomados

entre los años 2017 y 2019 en la Zona Lacustre de Xochimilco. Los datos colectados corresponden a dos zonas: Canales de Xochimilco y Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco (LCSGA); mismas que sirvieron como referencia para el establecimiento de los diversos sitios de muestreo. Un total de 2 sitios de muestreo corresponden a la zona del LCSGA (Ciénega Chica y Ciénega Grande). Por otro lado, en los Canales de Xochimilco se establecieron un total de 13 sitios de muestreo (mencionados propiamente en la sección de resultados). Los muestreos *in situ* fueron realizados por el personal del Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

7.2 Identificación de Macroinvertebrados

Se realizó una identificación de fotografías de especies de macroinvertebrados capturados en los canales de Xochimilco y el Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco, durante el periodo de 2017 y 2019, La identificación se realizó tras la observación de las características de cada organismo y con el apoyo de literatura especializada de Needham & Needham (1938); De la Lanza *et al.* (2001), Palma (2013) y Aristizábal-García (2016).

7.3 Análisis de la diversidad alfa (α)

Se llevó a cabo un análisis de datos con la aplicación de los índices de diversidad alfa (α), la cual describe la riqueza de especies de una comunidad en específico que se considera homogénea (Moreno, 2001). Para ello se utilizaron los siguientes índices bióticos para su medición y análisis.

- *Riqueza específica (S)*

La cual se basa en el número total de especies presentes en una comunidad sin tomar en cuenta el valor de importancia de estas (Moreno, 2001).

- *Índice de diversidad de Margalef*

Es una forma sencilla de medir la diversidad ya que proporciona datos de riqueza de especies, midiendo el número de especies por número de individuos específicos o la cantidad de especies por área muestreada (Moreno, 2001).

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde:

S= número de especies

N= número total de individuos

- *Índice de Shannon-Weiner*

Es un índice que combina la información de la riqueza de especies y la equidad, expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra, mide el grado promedio de incertidumbre, ya que predice a qué especie pertenece un individuo elegido al azar dentro de la comunidad. Adquiere valores entre cero cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos; sin embargo, comúnmente se encuentra entre 1,5 y 3,5, rara vez sobrepasando el 4 cuando se utiliza ln (Moreno, 2001).

$$H' = - \sum Pi * \ln Pi$$

Donde:

H= Índice de Shannon- Wiener

Pi= abundancia relativa

- *Índice de dominancia de Simpson*

El índice de Simpson determina la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie, es inverso al concepto de equidad, ya que toma en cuenta las especies con mayor importancia sin considerar al resto de especies, siendo menos sensible con la riqueza de las especies. Está influenciado por la importancia de las especies más dominantes (Moreno, 2001).

$$1 - D = 1 - \sum_{i=1}^S \left[\frac{n_i(n_i - 1)}{N(n - 1)} \right]$$

Donde:

(1 - D) = Índice de Simpson

n_i = Número de individuos de la especie i en la muestra

N = Número total de individuos en la muestra

S = Número de especies en la muestra

7.4 Análisis de Gremios Tróficos

Para este análisis se clasificó cada organismo identificado de acuerdo al gremio alimenticio al que pertenecen. La clasificación y agrupación se realizó por medio de datos bibliográficos del menor nivel taxonómico posible para cada organismo. La clasificación que fue usada es la empleada por Mandeville (2002): depredadores, raspadores, colectores, filtradores, colectores-raspadores y fragmentadores.

7.5 Análisis de Agrupación

Se realizó un análisis de agrupación o clúster de todos los sitios de muestreo para cada año, comparando así los sitios de muestreo según las especies que fueron identificadas en ellos, y clasificarlos en grupos de acuerdo con su similitud (Krebs, 2014). Para este fin, se echó mano del paquete estadístico PAST 4.0.7b, en el cual se hicieron los cálculos de los índices de similitud, así como la elaboración de un dendrograma de los sitios. La estrategia de agrupación empleada fue el método de Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean (UPGMA), y el índice de similitud utilizado fue el siguiente:

- *Índice de similitud o coeficiente de similitud de Jaccard*

Los coeficientes de similitud han sido utilizados para comparar comunidades con atributos similares, entre ellos se encuentra el índice de Jaccard, el cual tiene valores de 0 cuando no hay especies compartidas entre los sitios, hasta 1 cuando los dos sitios poseen la misma composición de especies (Moreno, 2001; Krebs, 2014):

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

a = número de especies en el sitio A

b= número de especies en el sitio B

c= número de especies en el sitio A y B

7.6 Análisis de Ordenación

Con el fin de conocer el comportamiento que tienen los macroinvertebrados bentónicos en el área de estudio, se realizó un análisis de ordenación. El análisis permitió conocer la respuesta que tuvieron las especies a lo largo de los años de muestreo, y determinar su sensibilidad a las diferentes variables ambientales. Para ello, se utilizó el paquete estadístico de PAST 4.0.7b para la elaboración de un diagrama de ordenación, el cual fue interpretado de acuerdo con los trabajos de Ter Braak (1986 y 1995).

7.7 Análisis de la calidad del agua

Para determinar la calidad del agua de las zonas muestreadas se utilizaron dos métodos: fisicoquímico y biótico. Para el primero, se tomaron parámetros fisicoquímicos, para el segundo por medio de los macroinvertebrados se emplearon dos índices bióticos:

- *Índice biótico Biological Monitoring Working Party (BMWP)*

Es un índice biótico sencillo, económico y rápido que se utiliza para evaluar la calidad del agua por medio de los macroinvertebrados. Para ello se realiza la identificación de los organismos hasta el nivel de familia, se le asigna un puntaje a cada una de las familias que va desde 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia a la contaminación (Tabla 1), siendo 1 la familia con mayor tolerancia y 10 la familia más sensible (Roldán-Pérez, 2016). La fórmula es la siguiente:

$$BWMP = \sum t_1$$

Donde:

t= valor de tolerancia de cada familia (Tabla 1).

Tabla 1. Calidad del Agua de acuerdo al BMWP (Pineda-López *et al.*, 2014).

Clase	Calidad	BMWP	Color representativo
I	Aguas de calidad excelente	>150	Azul
II	Aguas de calidad buena, no alteradas significativamente	101-120	Azul claro
III	Aguas de calidad regular, contaminación moderada	61-100	Verde
IV	Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	Amarillo
V	Aguas de calidad muy mala, muy contaminadas	16-35	Naranja
VI	Aguas de pésima calidad, extremadamente contaminadas	<15	Rojo

- *Índice Biótico de Familia (IBFM) (Hilsenhoff, 1982)*

El IBFM emplea valores promedio de tolerancia de las especies del género o familia que van desde 0 a 10 siendo 0 la menos tolerante y 10 muy tolerante, es uno de los índices más sensibles a la contaminación orgánica (Rojas, 2015) (Tabla 2). Posteriormente se compara el resultado obtenido con los rangos de contaminación orgánica para el IBF.

$$IBFM = \sum \left[\frac{(n_1 * t_1)}{N} \right]$$

Donde

n = abundancia de cada familia

N = número total de individuos encontrados.

t = grado de tolerancia

Tabla 2. Nivel de contaminación orgánica de acuerdo con el Índice Biótico de Familias (IBF) (Rojas, 2015).

Valor del IBF	Calidad del agua	Grado de contaminación
0.00 - 3.50	Excelente	Sin contaminación orgánica aparente
3.51 - 4.50	Muy Buena	Posible contaminación orgánica ligera
4.51 - 5.50	Buena	Contaminación orgánica mínima
5.51 - 6.50	Regular	Contaminación orgánica moderada
6.51 - 7.50	Moderadamente pobre	Contaminación orgánica significativa
7.51 - 8.50	Pobre	Contaminación orgánica muy significativa
8.51 - 10.00	Muy Pobre	Contaminación orgánica severa

8 RESULTADOS

8.1 Identificación de macroinvertebrados

Se registraron un total de 1,804 macroinvertebrados bentónicos capturados en la Zona Lacustre de Xochimilco, para el periodo de 2017 a 2019, de los cuales 438 corresponden al Lago de San Gregorio Atlapulco, y 1,366 corresponden a los Canales de Xochimilco. También se identificó a cada uno de estos individuos hasta el nivel taxonómico más básico posible (Tabla 3).

Tabla 3. Listado de macroinvertebrados bentónicos identificados en las dos áreas de la Zona Lacustre de Xochimilco.

Clase	Orden	Familia	Especie	Lago de San Gregorio Atlapulco	Canales de Xochimilco
Hirudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae	<i>Erpobdella ochoterenai</i>	-	0
	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Helobdella fusca</i>	0	0
Crustacea	Isopoda	Asellidae	<i>Caecidotea xochimilca</i>	-	0
	Amphipoda	Gammaridae	<i>Gammarus sp.</i>	0	0
		Hyaletellidae	<i>Hyaella azteca</i>	0	0
	Arguloidea	Argulidae	<i>Argulus mexicanus</i>	-	0
	Decapoda	Cambaridae	<i>Cambarellus montezumae</i>	-	0
	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Agabus sp.</i>	0
<i>Dytiscus sp.</i>				0	0
Hydrophilidae			<i>Paracymus mexicanus</i>	0	0
			<i>Tropisternus sp.</i>	0	-
			<i>Chironomus plumosus</i>	0	0
Diptera		Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	0	0
		Tabanidae	<i>Atylotus vargasi</i>	0	-
Hemiptera		Belostomatidae	<i>Belostoma sp.</i>	0	0
			<i>Corixa punctata</i>	0	0
		Nepidae	<i>Nepa apiculata</i>	0	-
		Notonectidae	<i>Buenoa sp.</i>	0	0
			<i>Notonecta sp.</i>	0	-
		Odonata	Aeshnidae	<i>Aeshna multicolor</i>	0
Coenagrionidae			<i>Ischnura denticollis</i>	0	0
Gomphidae			<i>Erpetogomphus crotalinus</i>	0	-
Lestidae			<i>Archilestes grandis</i>	0	0
Libellulidae			<i>Erythemis sp.</i>	0	0
Trichoptera		Philopotamidae	<i>Chimarra acuta</i>	-	0
Gasteropoda		Basommatophora	Physidae	<i>Physa osculans</i>	0

Presencia = 0**Ausencia = -**

Para el Lago de San Gregorio Atlapulco se identificaron un total de 20 especies de macroinvertebrados bentónicos pertenecientes a 17 familias (Tabla 4). Destacan las especies del orden Odonata y Hemiptera, ordenes que resultaron ser los más diversos. La especie dominante en el Lago de San Gregorio Atlapulco, durante 2017-2019 fue *Buenoa sp.*, mientras que las especies abundantes fueron *Corixa punctata*, *Aeshna multicolor* y *Gammarus sp.*, y las especies raras fueron *Notonecta sp.*, *Erpetogomphus crotalinus*, *Nepa apiculata*, *Atylotus vargasi* y *Helobdella fusca* (Figura 2).

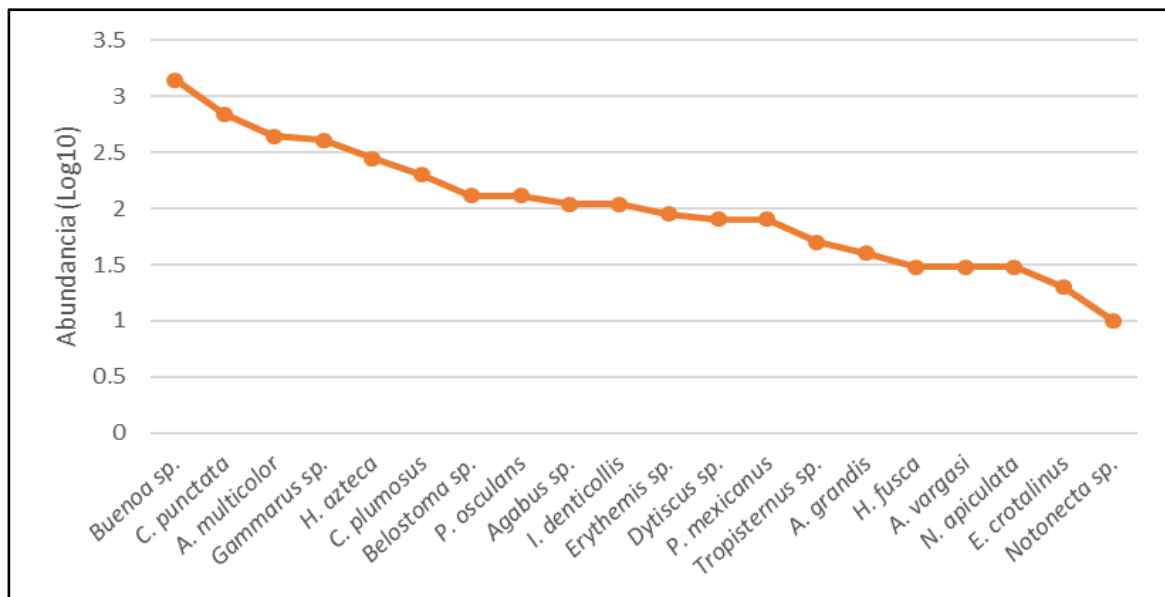


Figura 2. Curva logarítmica de rango-abundancia de las especies de macroinvertebrados en el Lago de San Gregorio Atlapulco durante el periodo de 2017 a 2019.

Tabla 4. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos identificados en la Zona Lacustre de Xochimilco (ZLX) durante el periodo de 2017 a 2019.

Especie	Lago de San Gregorio Atlapulco						Canales de Xochimilco								
	Ciénega Grande			Ciénega Chica			Canal de Cuemanco			Canal del Bordo			Canal el Laberinto		Canal Nacional
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2018
<i>E. ochoterenai</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>H. fusca</i>	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>C. xochimilca</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	2
<i>Gammarus sp.</i>	0	35	0	0	6	0	0	6	0	0	5	0	0	0	4
<i>H. azteca</i>	26	0	0	2	0	0	0	0	0	15	0	0	5	0	0
<i>A. mexicanus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0
<i>C. montezumae</i>	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0
<i>Agabus sp.</i>	4	6	0	0	0	1	0	1	0	3	0	0	4	0	0
<i>Dytiscus sp.</i>	0	0	5	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>P. mexicanus</i>	0	3	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Tropisternus sp.</i>	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>C. plumosus</i>	0	8	10	0	0	2	0	1	0	0	2	0	0	0	0
<i>A. vargasi</i>	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Belostoma sp.</i>	8	4	0	0	0	1	0	0	0	9	7	2	6	1	0
<i>C. punctata</i>	22	27	0	1	0	20	1	8	0	2	6	0	0	0	0
<i>N. apiculata</i>	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Buena sp.</i>	26	89	0	0	0	26	0	0	6	5	1	177	1	1	12
<i>Notonecta sp.</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>A. multicolor</i>	11	21	0	0	1	11	0	0	0	1	3	0	5	6	2
<i>I. denticollis</i>	6	5	0	0	0	0	0	0	5	7	0	0	7	2	1
<i>E. crotalinus</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>A. grandis</i>	4	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	3	0	2
<i>Erythemis sp.</i>	0	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0
<i>C. acuta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>P. osculans</i>	0	7	3	0	1	2	0	2	1	0	1	2	0	0	0

Tabla 4. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos identificados en la Zona Lacustre de Xochimilco (ZLX) durante el periodo de 2017 a 2019... (Continuación).

Especie	Canales de Xochimilco														Total en la ZLX
	Canal Trancatilta		Descarga		Laguna de Tlilac			Laguna el Toro		Canal Apampilco	Canal Apatlaco	Canal Atizapa	Canal Otenco	Canal Texhuilo	
	2018	2019	2018	2019	2017	2018	2019	2018	2019	2019	2019	2019	2019	2019	
<i>E. ochoterenai</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>H. fusca</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
<i>C. xochimilca</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
<i>Gammarus sp.</i>	0	36	1	1	0	28	5	0	0	8	2	10	2	2	151
<i>H. azteca</i>	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52
<i>A. mexicanus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>C. montezumae</i>	0	7	0	3	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	21
<i>Agabus sp.</i>	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
<i>Dytiscus sp.</i>	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	18
<i>P. mexicanus</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	14
<i>Tropisternus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>C. plumosus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	49	0	0	1	74
<i>A. vargasi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Belostoma sp.</i>	0	2	0	4	13	16	1	0	0	0	0	0	0	0	74
<i>C. punctata</i>	0	5	3	0	0	7	0	0	0	4	10	0	4	0	120
<i>N. apiculata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Buenoa sp.</i>	2	190	2	89	1	27	151	1	13	0	1	1	0	6	828
<i>Notonecta sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>A. multicolor</i>	2	4	0	2	2	13	1	0	0	1	4	0	7	7	104
<i>I. denticollis</i>	0	12	0	9	7	13	18	0	0	0	10	4	4	15	125
<i>E. crotalinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>A. grandis</i>	0	0	0	0	3	2	0	2	0	0	0	0	0	0	20
<i>Erythemis sp.</i>	0	0	0	1	0	0	3	0	4	0	0	0	0	0	25
<i>C. acuta</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	9
<i>P. osculans</i>	0	9	7	2	0	2	17	1	0	1	16	5	31	6	116

Para el caso de los Canales de Xochimilco se identificaron un total de 20 especies de macroinvertebrados bentónicos, las cuales corresponden a 20 familias (Tabla 4). El orden Odonata resalta como el más diverso, y el orden Hemiptera presentó la mayor abundancia relativa, como ocurrió en el caso del Lago de San Gregorio Atlapulco. De entre las especies, destaca *Buenoa sp.* como la más abundante en los canales, y por lo tanto dominante, durante el periodo de 2017-2019 (Figura 3). En ese mismo sentido, *Ischnura denticollis* y *Gammarus sp.* y *Physa osculans* representan las especies abundantes y, *Erythremis sp.*, *Helobdella fusca*, *Argulus mexicanus*, *Caecidotea xochimilca* y *Paracymus mexicanus* las especies raras.

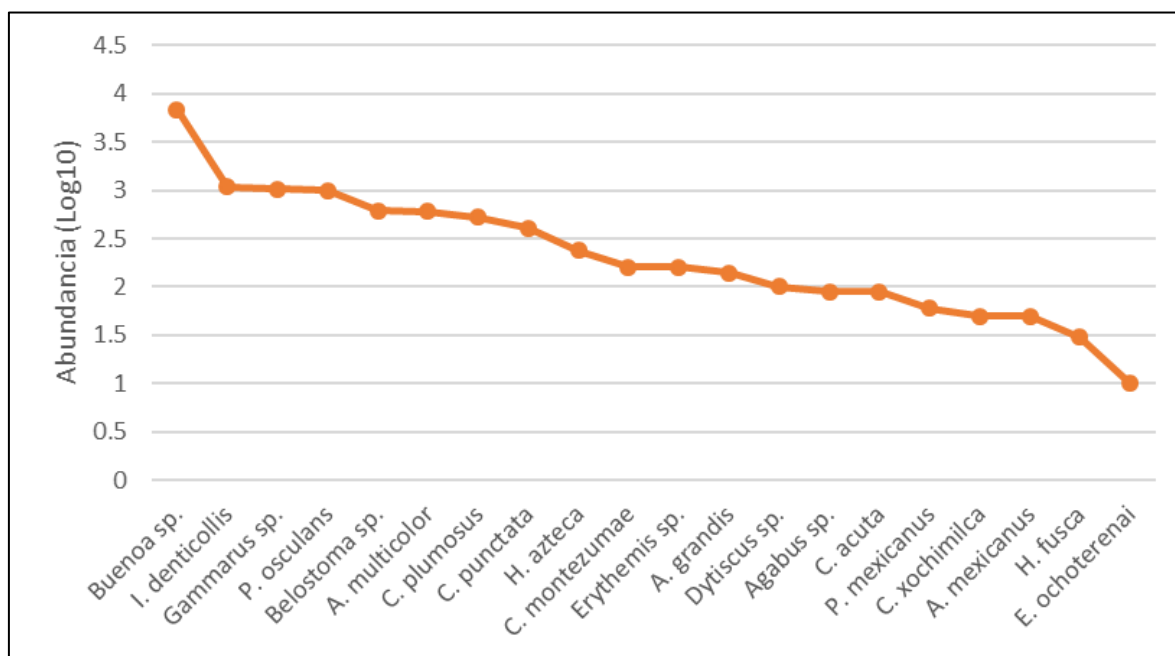


Figura 3. Curva logarítmica de rango-abundancia de las especies de macroinvertebrados en los Canales de Xochimilco durante el periodo de 2017 a 2019.

Los registros fotográficos de los macroinvertebrados bentónicos capturados entre el 2017 y 2019 en la Zona Lacustre de Xochimilco (Figuras 4 a 7), consistieron en ejemplares principalmente en su etapa adulta, salvo en los casos del Orden Diptera, Odonata y Trichoptera, cuyos ejemplares son exclusivamente etapas larvianas, debido a la naturaleza de sus ciclos de vida de dichos organismos.

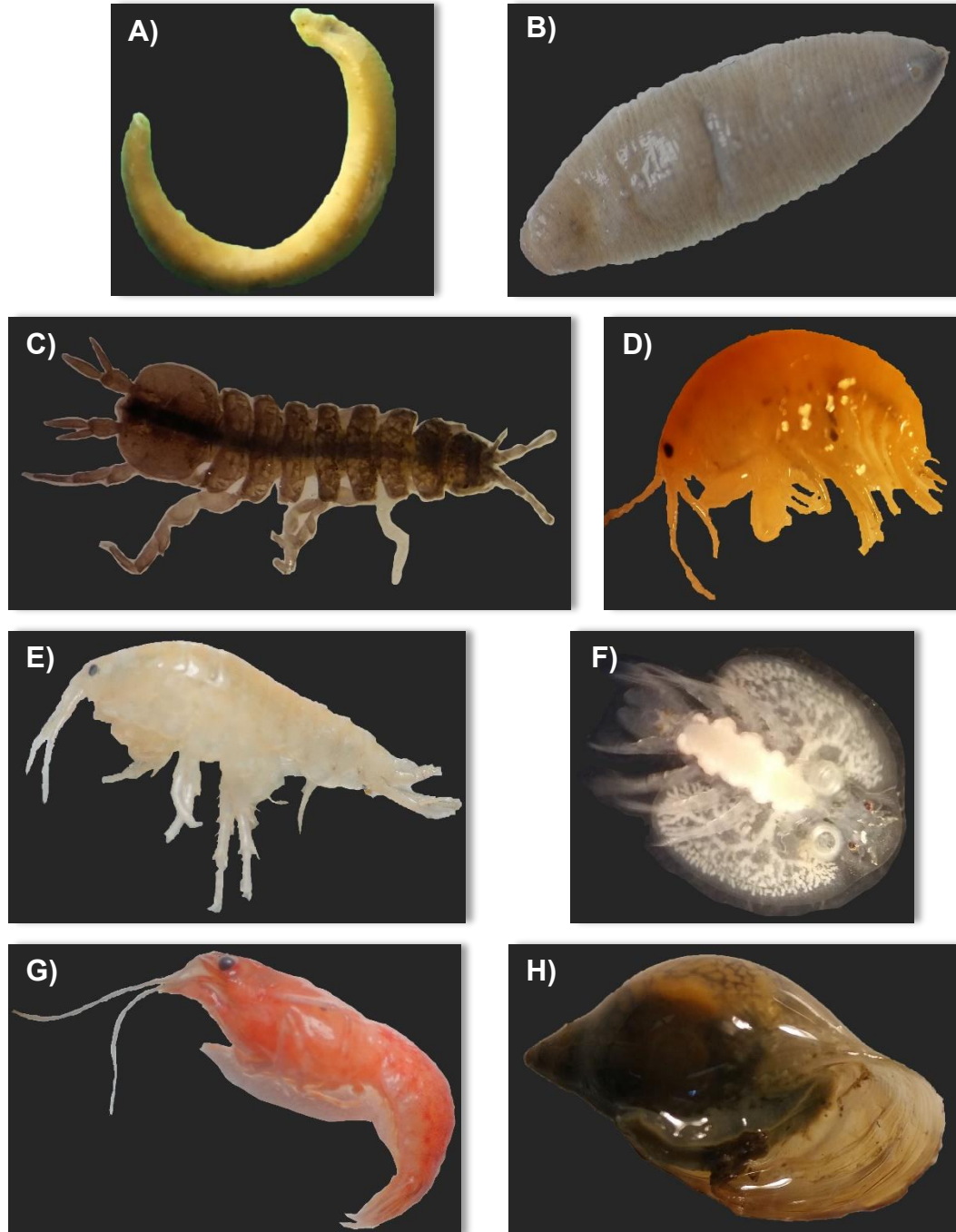


Figura 4. Hirudíneos, crustáceos y gasterópodo encontrados en la Zona Lacustre de Xochimilco: A) *Erpobdella ochoterenai* y B) *Helobdella fusca*, depredadores tolerantes a la contaminación orgánica; C) *Caecidotea xochimilca*, colector altamente tolerante; D) *Gammarus sp.*, colector con baja tolerancia a la contaminación orgánica; E) *Hyalella azteca*, colector altamente tolerante; F) *Argulus mexicanus*, ictioparásito con tolerancia a la contaminación; G) *Cambarellus montezumae*, colector medianamente tolerante; H) *Physa oculans*, colector con alta tolerancia a la contaminación orgánica.

8.1.1. Breve descripción de los macroinvertebrados registrados en la Zona Lacustre de Xochimilco.

Erpobdella ochoterenai (Caballero, 1932), especie de sanguijuela bentónica dulciacuícola macrófaga, habitando en las raíces de planas acuáticas y alimentándose de pequeños invertebrados acuáticos, diferenciada del resto de especies del género en México por su ausencia de bucle preatrial en las gónadas del macho. Presenta una amplia distribución dentro de la República Mexicana (Oceguera-Figueroa, León-Règagnon and Siddall, 2005; Oceguera-Figueroa y León-Règagnon, 2014).

Helobdella fusca (Castle, 1900), especie de pequeña sanguijuela dulciacuícola macrófaga, que se alimenta principalmente de pequeños oligoquetos y moluscos o canibaliza individuos de menor tamaño, distribuida ampliamente en norteamérica (Lynggaard *et al.* 2021).

Caecidotea xochimilca (Rocha-Ramírez, 2011), especie de crustáceo isópodo que habita en las raíces del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en la Zona Lacustre de Xochimilco, de donde obtendrá su alimento colectando las partículas atrapadas. La especie presenta una preferencia por aguas alcalinas, siendo además una especie altamente tolerante a la contaminación de estas (Escobar-Briones and Alcocer, 2002, Rocha-Ramírez and Peñaloza-Daniel, 2011, Rocha-Ramírez *et al.* 2014, Schottle *et al.* 1995).

Gammarus (Linnaeus, 1758), género de pequeños crustáceos anfípodos (camarones) con amplia distribución en la zona del paleártico, habitando aguas marinas o dulces. Son principalmente detritívoros, y numerosas especies son sensibles a cambios en el ambiente por lo que son capaces de funcionar como especies bioindicadoras, y por su misma sensibilidad, el género presenta varios exponentes en condiciones de peligro de acuerdo con la lista roja de la UICN (Casset *et al.* 2001; Margalef 1951; Qvenild *et al.* 2020)

Hyalella azteca (Saussure, 1858), pequeña especie de crustáceos anfípodos (camarones) con amplia distribución en aguas tanto saladas como dulces de América del Norte, Centroamérica y el Caribe, donde se le encuentra frecuentemente entre la vegetación acuática para colectar el detritus del que se

alimenta. La especie tiene baja tolerancia a aguas ácidas, y forma parte importante de la dieta de aves acuáticas (Strong, 1972; González and Watling, 2002; Violante-Huerta, 2020).

Argulus mexicanus (Pineda, Paramo & del Rio, 1995), es un crustáceo argúlido parásito, conocido como uno de los piojos de los peces, en quienes puede encontrarse en su cámara branquial, cavidad bucal o sobre la epidermis. Debido a la naturaleza de su alimentación, son importantes crustáceos en la industria de la piscicultura (Lopretto, 2004; Casas & López, 2017).

Cambarellus montezumae (Saussure, 1857), conocido como acocil, especie de crustáceo decápodo dulciacuícola endémico de sistemas lénticos del centro de México. Habitan en los bentos, y se les encuentra asociados a las raíces de la vegetación riparia, donde los adultos colectan el detritus del que se alimentan. Forman parte importante de la dieta de muchos anfibios y, tradicionalmente de la cocina mexicana (Álvarez y Rangel, 2007; Cerón *et al.* 2015; García-Padilla, 2014).

Physa osculans (Haldeman, 1841), especie de gasterópodo pulmonado cosmopolita, capaz de habitar en tierra o en ambientes dulciacuícolas.

Agabus (Leach, 1817), género de coleópteros acuáticos depredadores de tamaño considerable y forma oval-aplanada. El género presenta una amplia distribución, principalmente holoártica, habitando cuerpos lénticos o lóticos poco profundos (Coto, 1998).

Dytiscus (Linneaus, 1758), género de coleópteros acuáticos depredadores de gran tamaño y distribución holoártica, que habita estanques y humedales. Son depredadores naturales importantes de larvas de mosquitos (Miller and Bergsten, 2016).

Paracymus mexicanus (Wooldridge, 1969), especie de coleóptero depredador acuático, endémico del centro de México, habitando cuerpos de agua como arroyos, ríos y sistemas lénticos ubicándose en el bento de estos (Pérez y Morón, 2011).

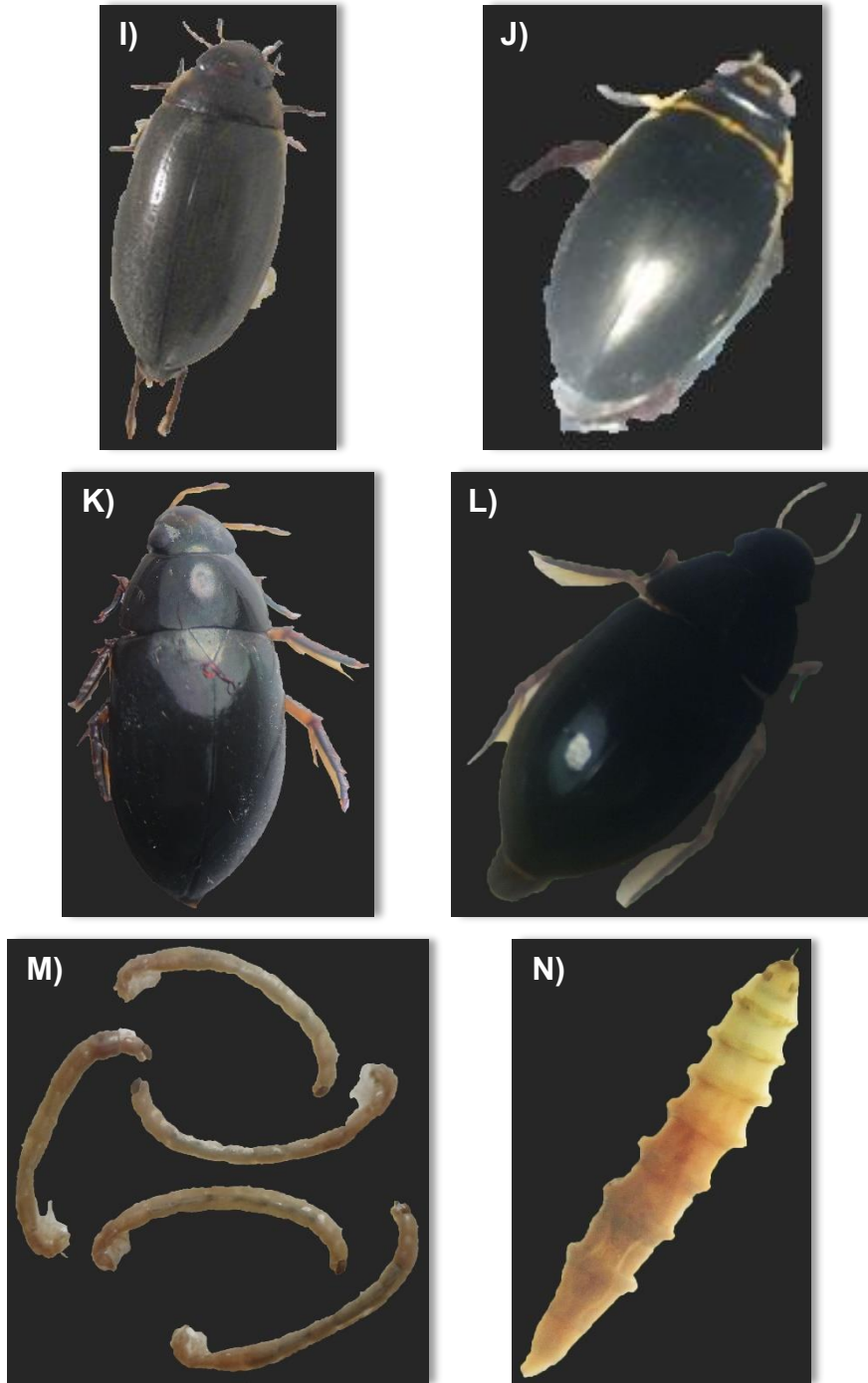


Figura 5. Coleópteros y Dípteros encontrados en la Zona Lacustre de Xochimilco: I) *Agabus* sp. J) *Dytiscus* sp. K) *Paracymus mexicanus* y L) *Tropisternus* sp. son depredadores medianamente tolerantes a la contaminación orgánica; M) Larvas de *Chironomus plumosus*, colector altamente tolerante; N) Larva de *Atylotus vargasi*, depredador con tolerancia relativamente alta a la contaminación orgánica.

Tropisternus (Solier, 1834), género de coleópteros acuáticos de cuerpo elíptico-convexo habitantes de ecosistemas lénticos y lóticos, y distribuidos por el continente americano. El género presenta especies colectoras-fragmentadoras, así como depredadoras. Un total de 63 especies se encuentran distribuidas en la República Mexicana (Fernández *et al.* 2000; Pérez y Morón, 2011).

Chironomus plumosus (Linnaeus, 1758), especie de mosquitos quironómidos que carecen de piezas bucales especializadas para perforar. La forma larvaria representa un importante eslabón de la red trófica, al alimentarse del detritus, mientras es consumida por peces y otros macroinvertebrados más grandes. Los adultos, son nectarívoros principalmente, lo cual los convierte en considerables polinizadores (Kearns, 2001; Evans, 2007).

Atylotus vargasi (Philip, 1954), especie de tábano con abundante cantidad de vellosidades. Considerados como importantes polinizadores y vectores de enfermedades, debido a la dieta nectarívora de los adultos y la estrategia reproductiva de anautogenia en las hembras (Philip, 1954; Cheng, 2012; Morita *et al.* 2015).

Belostoma (Latreille, 1807), género de hemípteros conocidos como chinches acuáticas gigantes, siendo estos los insectos más grandes del orden Hemiptera. Endémicos de hábitats dulciacuícolas del continente americano, donde son depredadores agresivos de gastrópodos, crustáceos, peces y anfibios. La familia de este Género presenta cuidado parental, donde los huevos son colocados sobre las alas de los machos hasta que estos eclosionan (Smith, 1997; Thorp and Rogers, 2015).

Corixa punctata (Illiger, 1807), especie de hemípteros acuáticos conocidos como boteros pequeños, la cual presenta una distribución cosmopolita en cuerpos de agua lénticos. La especie es colector, alimentándose del detritus suspendido entre las plantas acuáticas del ambiente que habita. Debido a su pequeño tamaño, son fuente de alimento para peces, aves y anfibios de los cuerpos de agua, viéndose así mermada su población en abundancia de estos depredadores (Frolov, 2015; Melo, 2014).

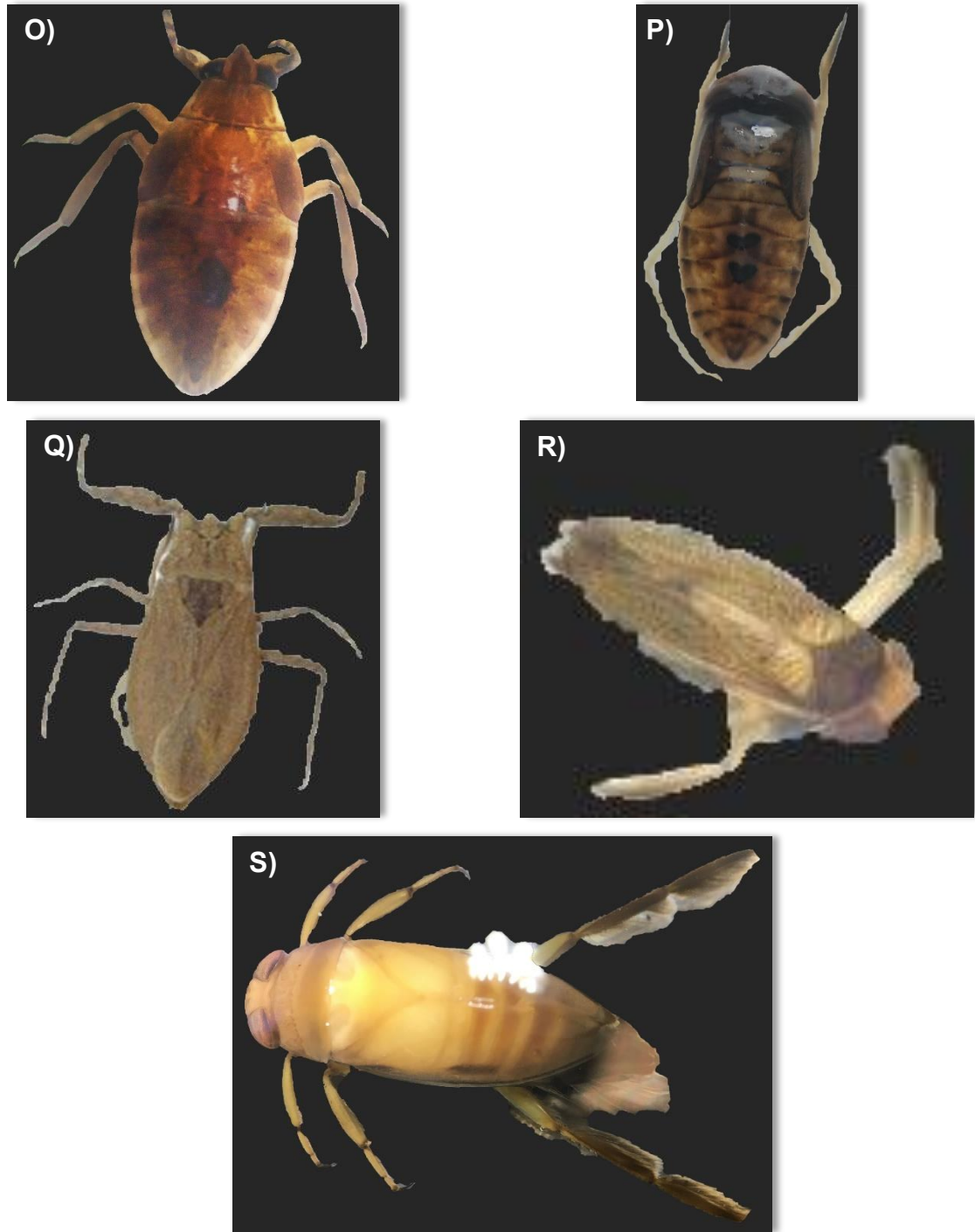


Figura 6. Hemípteros encontrados en la Zona Lacustre de Xochimilco: O) *Belostoma* sp. depredador altamente tolerante a la contaminación orgánica; P) *Corixa punctata*, colector relativamente tolerante a la contaminación; Q) *Nepa apiculata*, R) *Buenoa* sp. y S) *Notonecta* sp. son depredadores con tolerancia relativamente baja a la contaminación orgánica.

Nepa apiculata (Uhler, 1862), especie de escorpión de agua norteamericano, que habita en el bento de aguas poco profundas y con poco movimiento, donde se desplaza utilizando la vegetación para alimentarse de macroinvertebrados más pequeños (McPherson and Packauskas, 1987).

Buenoa (Kirkaldy, 1904), género de hemípteros conocidos como garapitos del hemisferio occidental con amplia distribución, usualmente habitando ambientes lénticos, pero también habitando ambientes lóticos con corrientes lentas. Al ser resistentes a cambios en el ambiente, es común encontrarlos en una diversidad de condiciones de sus hábitats. Son depredadores de pequeños macroinvertebrados y funcionan como control biológico de insectos que representan riesgos para la salud (Padilla-Gil, 2002).

Notonecta (Linnaeus, 1758), género de hemípteros conocidos como garapitos. Al carecer de branquias, nadan de espaldas para permitirse respirar para capturar a las larvas acuáticas, renacuajos y peces pequeños de los que se alimentan. Presentan distribución cosmopolita en hábitats lóticos (Gil, 1994).

Aeshna multicolor (Hagen, 1861), también conocida como la zurcidora de ojos azules (*syn. Rhionaeschna multicolor*), es un ésnido neotropical de amplia distribución, la cual presenta machos con ojos característicamente azules. Habita cuerpos de agua dulce continentales poco profundos, inclusive en zonas urbanas, desempeñándose como depredador (Montana Field, Guide, 2020; Xerces Society, 2019).

Ischnura denticollis (Burmeister, 1839), especie de léstidos conocida como caballito pigmeo, siendo esta una relativamente pequeña que habita cuerpos de agua dulce poco profundos, en los que se reproducirá y depredará a animales incluso mayores a su tamaño. Así mismo, forman parte de la dieta de aves, peces y anfibios (González-Soriano y Barba-Medina, 2009).

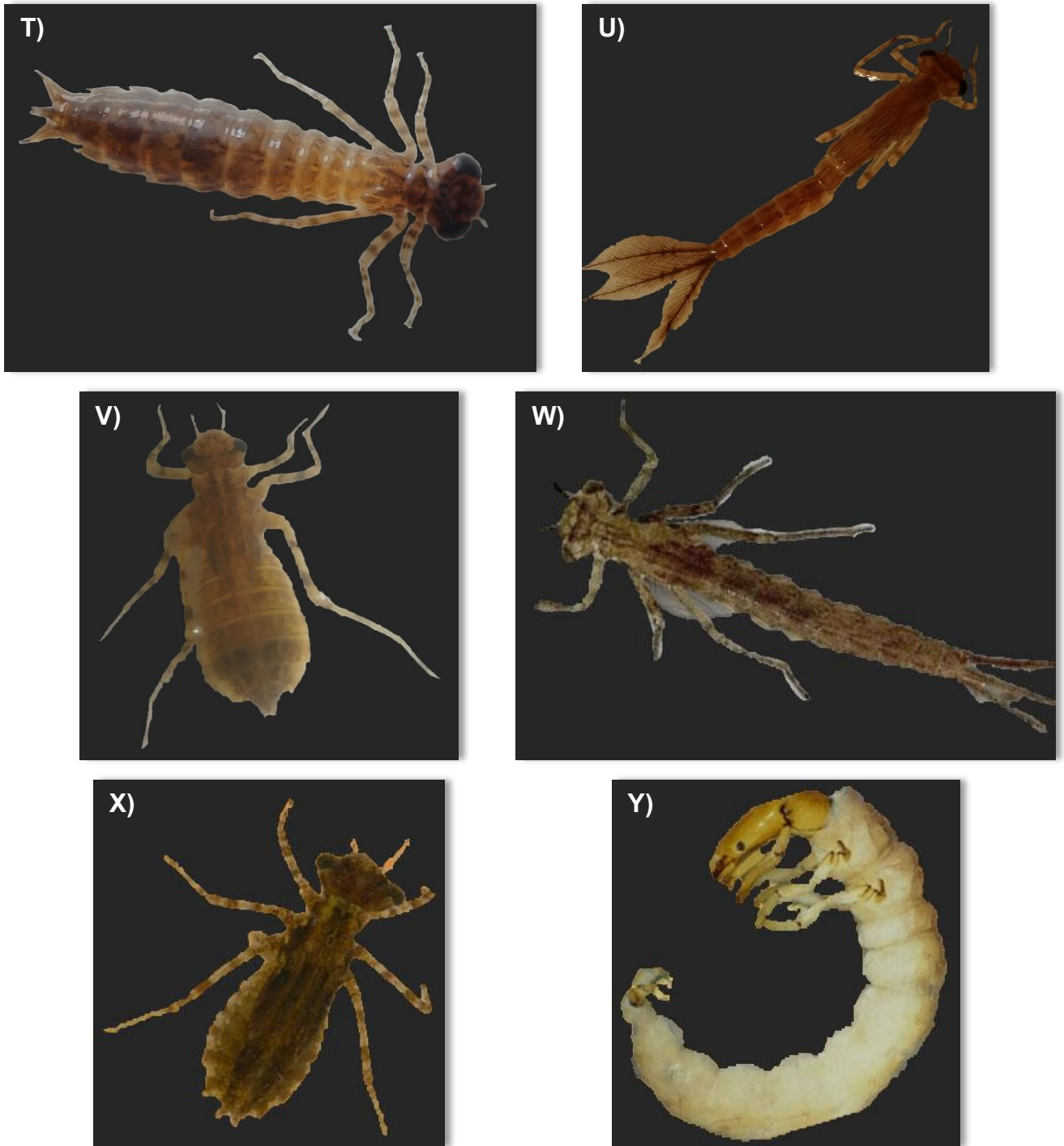


Figura 7. Larvas de Odonatos y Tricóptero encontrados en la Zona Lacustre de Xochimilco: T) *Aeshna multicolor* depredador altamente intolerante a la contaminación orgánica; U) *Ischnura denticollis*, depredador altamente tolerante a la contaminación; V) *Erpetogomphus crotalinus*, depredador con una muy baja tolerancia a la contaminación; W) *Archilestes grandis* y X) *Erythemis* sp. depredadores altamente resistentes a la contaminación orgánica; Y) *Chimarra acuta* colector-filtrador altamente intolerantes a la contaminación.

Erpetogomphus crotalinus (Selys, 1858), especie conocida como libélula serpiente de patas amarillas, la cual presenta amplia distribución neártica y neotropical en el continente americano. Caracterizada por sus colas anilladas y ligeramente abultadas, habitan ambientes lóticos en aguas someras donde depredaran durante sus dos etapas de desarrollo (Garrison, 1994; Gómez, 2008; Paulson, 2009).

Archilestes grandis (Rambur, 1842), especie de léstidos conocidos como caballitos del diablo, particularmente una de las más grandes de su familia, la cual presenta una amplia distribución desde Norteamérica hasta Centroamérica. Prefiere aguas lénticas con bajos niveles de contaminación y con abundante vegetación desde donde perchan para buscar a sus presas (VanDyk, 2018).

Erythemis (Hagen, 1861), género de libélulas que habita ambientes tanto lóticos como lénticos, donde se desempeñan como depredadores, los cuales pueden llegar a recurrir a canibalismo. El género cuenta con 10 especies, de las cuales 7 se registran en el México (Gómez, 2008; Flórez, 2021).

Chimarra acuta (Ross, 1959), especie de tricóptero frigánea nativa del México neotropical, donde habita la zona bentónica de ambientes dulceacuícola con poco movimiento. Forman parte importante de la red trófica de los cuerpos de agua en los que habita, siendo su larva un detritívoro que forma parte de la dieta de otros animales (Springer, 2010; Razo-González, 2021).

8.2 Índices de diversidad y gremios tróficos

En La Zona Lacustre de Xochimilco se registraron un total de 16 especies pertenecientes al gremio de depredadores, 7 colectores, 1 parásito y 1 colector-filtrador (Tabla 5). Las especies *Gammarus sp.* y *Buenoa sp.* fueron las especies dominantes de los gremios de Colectores y Depredadores, respectivamente.

Tabla 5. Parámetros bióticos y abundancia relativa de Gremios Tróficos en Lago de San Gregorio Atlapulco durante el periodo de 2017 a 2019.

Clase	Orden	Familia	Género	Gremio Trófico	
Hirudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae	<i>Erpobdella ochoterenai</i>	Depredador	
	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Helobdella fusca</i>	Depredador	
Crustacea	Isopoda	Asellidae	<i>Caecidotea xochimilca</i>	Colector	
	Amphipoda	Gammaridae	<i>Gammarus sp.</i>	Colector	
		Hyaletidae	<i>Hyaella azteca</i>	Colector	
	Arguloidea	Argulidae	<i>Argulus mexicanus</i>	Parásito	
	Decapoda	Cambaridae	<i>Cambarellus montezumae</i>	Colector	
Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Agabus sp.</i>	Depredador	
			<i>Dytiscus sp.</i>	Depredador	
	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Paracymus mexicanus</i>	Depredador	
			<i>Tropisternus sp.</i>	Depredador	
	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	Colector	
		Tabanidae	<i>Atylotus vargasi</i>	Depredador	
	Hemiptera	Belostomatidae	<i>Belostoma sp.</i>	Depredador	
		Corixidae	<i>Corixa punctata</i>	Colector	
		Nepidae	<i>Nepa apiculata</i>	Depredador	
		Notonectidae	<i>Buenoa sp.</i>	Depredador	
			<i>Notonecta sp.</i>	Depredador	
	Odonata	Aeshnidae	<i>Aeshna multicolor</i>	Depredador	
		Coenagrionidae	<i>Ischnura denticollis</i>	Depredador	
		Gomphidae	<i>Erpetogomphus crotalinus</i>	Depredador	
		Lestidae	<i>Archilestes grandis</i>	Depredador	
		Libellulidae	<i>Erythemis sp.</i>	Depredador	
	Trichoptera	Philopotamidae	<i>Chimarra acuta</i>	Colector-Filtrador	
	Gasteropoda	Basommatophora	Physidae	<i>Physa osculans</i>	Colector

El Lago de San Gregorio Atlapulco durante el año 2018 registró una mayor diversidad específica y altos índices de biodiversidad, en contraste con el año 2017 (Tabla 6). Particularmente, el sitio de muestreo Ciénega Grande fue el más productivo, en cuanto a número de capturas y de especies obtenidas, además de ser el sitio con mayores índices de diversidad. Por otra parte, en el Lago de San Gregorio Atlapulco se identificaron dos gremios tróficos, siendo el gremio de los depredadores el más prominente. En el sitio de muestreo Ciénega Chica, entre 2017-2018, el gremio de colectores fue dominante, en cuyo caso, se obtuvieron bajo condiciones de muy baja diversidad y abundancia de macroinvertebrados. Cabe

recordar que las especies más abundantes en el Lago de San Gregorio Atlapulco, durante 2017-2019, fueron *Buena sp.* (Depredador), *Corixa punctata* (Colector), *Gammarus sp.* (Colector) y *Aeshna multicolor* (Depredador), mostrando así una mayor diversidad específica de depredadores, donde se encuentran 2 especies dominantes. Mientras que los colectores resultaron el gremio trófico menos específicamente diverso, y relativamente menos abundante.

Tabla 6. Parámetros bióticos y abundancia relativa de Gremios Tróficos en Lago de San Gregorio Atlapulco durante el periodo de 2017 a 2019.

Sitio	Año	N	S	D_{Mg}	H'	1-D	Depredadores	Colectores
Ciénega Grande	2017	107	8	1.498	1.8478	0.8253	55.14%	44.86%
	2018	219	16	2.7834	1.9696	0.7834	64.84%	35.16%
	2019	27	5	1.2137	1.4068	0.755	51.85%	48.15%
Ciénega Chica	2017	3	2	0.9102	0.6365	0.6667	0.00%	100.00%
	2018	11	5	1.6681	1.2945	0.7091	36.36%	63.64%
	2019	71	9	1.8768	1.6554	0.7646	66.20%	33.80%
GENERAL	2017	110	8	1.4892	1.837	0.8222	53.64%	46.36%
	2018	230	17	2.9422	2.0161	0.794	63.48%	36.52%
	2019	98	11	2.181	2.032	0.8502	62.24%	37.76%

N = Número de individuos; S = Número de especies; D_{Mg} = Diversidad de Margalef; H' = Diversidad de Shannon-Weiner; $1-D$ = Índice inverso de Simpson.

Por otra parte, en el área de los Canales de Xochimilco, el 2019 fue el año más productivo en cuanto a capturas, mientras que el 2018 resultó el año con mayor diversidad específica (Tabla 7). Particularmente, el Canal del Bordo y la Laguna de Tlilac fueron los sitios de muestreo más productivos, y en los que se registró una diversidad específica más elevada entre los canales muestreados. Referente a los gremios tróficos, en los Canales de Xochimilco se identificaron cuatro gremios tróficos, sin embargo, la dominancia de depredadores sigue siendo notoria, así como en el Lago de San Gregorio Atlapulco. Así mismo, el gremio de Parásitos y de Colectores-Filtradores solo presentaron una especie representativa cada uno, siendo el caso de *Argulus mexicanus* la representante de los Parásitos, y *Chimarra acuta* la del gremio de Colectores-Filtradores. Es así como, de forma general se observó un crecimiento de la comunidad de macroinvertebrados, destacando la

dominancia de los depredadores, como sugieren los valores del índice de Simpson y las abundancias relativas de dicho gremio.

Tabla 7. Índices bióticos y abundancia relativa de Gremios Tróficos en Canales de Xochimilco durante el periodo de 2017 a 2019.

Sitios	Año	N	S	D_{Mg}	H'	1-D	Depredadores	Colectores	Parásitos	Colectores - Filtradores
Canal del Bordo	2017	46	9	2.09	1.87	0.83	56.52%	36.96%	6.52%	0.00%
	2018	29	10	2.67	2.04	0.87	72.41%	27.59%	0.00%	0.00%
	2019	189	4	0.57	0.29	0.12	98.94%	1.06%	0.00%	0.00%
Canal Trancatilita	2018	5	3	1.24	1.05	0.8	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	2019	274	10	1.6	1.16	0.5	79.20%	0.00%	0.00%	0.00%
Canal de Cuemanco	2017	1	1	0	0	1	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
	2018	25	8	2.17	1.79	0.83	44.00%	56.00%	0.00%	0.00%
	2019	13	4	1.17	1.12	0.68	84.62%	15.38%	0.00%	0.00%
Canal Nacional	2018	23	6	1.59	1.42	0.7	73.91%	26.09%	0.00%	0.00%
Canal el Laberinto	2017	32	8	2.02	1.92	0.87	81.25%	15.63%	3.13%	0.00%
	2018	14	6	1.89	1.54	0.79	78.57%	21.43%	0.00%	0.00%
Laguna de Tlilac	2017	33	8	2	1.72	0.79	84.85%	12.12%	3.03%	0.00%
	2018	115	10	1.9	1.96	0.84	68.70%	31.30%	0.00%	0.00%
	2019	196	7	1.14	0.84	0.39	88.78%	11.22%	0.00%	0.00%
Laguna el Toro	2018	4	3	1.44	1.04	0.83	75.00%	25.00%	0.00%	0.00%
	2019	17	2	0.35	0.55	0.38	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Canal Otenco	2019	50	6	1.28	1.23	0.59	26.00%	74.00%	0.00%	0.00%
Canal Apampilco	2019	14	4	1.14	1.05	0.63	7.14%	92.86%	0.00%	0.00%
Canal Apatlaco	2019	100	9	1.74	1.59	0.71	16.00%	77.00%	0.00%	7.00%
Canal Texhuilo	2019	37	6	1.38	1.53	0.76	75.68%	24.32%	0.00%	0.00%
Canal Atizapa	2019	22	5	1.29	1.36	0.73	31.82%	68.18%	0.00%	0.00%
Descarga	2018	13	4	1.17	1.16	0.68	38.46%	61.54%	0.00%	0.00%
	2019	114	10	1.9	0.94	0.38	92.11%	6.14%	0.00%	1.75%
GENERAL	2017	112	9	1.70	1.96	0.84	71.43%	24.11%	4.46%	0.00%
	2018	228	15	2.58	2.28	0.88	66.67%	33.33%	0.00%	0.00%
	2019	1026	13	1.73	1.47	0.60	75.63%	23.49%	0.00%	0.88%

N = Número de individuos; S = Número de especies; D_{Mg} = Diversidad de Margalef; H' = Diversidad de Shannon-Weiner; $1-D$ = Índice inverso de Simpson.

8.3 Análisis de Agrupación

El análisis clúster (análisis Q) realizado para los sitios de muestreo de la Zona Lacustre de Xochimilco mostró una similitud moderada a nivel taxonómico de macroinvertebrados, reflejada en una correlación cofenética de 0.7998 (Figura 8). El dendrograma obtenido muestra la formación de 4 grupos: El grupo A (Descarga y Canal Apatlaco), el grupo B (Canal Apampilco y Canal Otenco), grupo C (Canal el Bordo y Laguna de Tlilac) y el grupo D (Ciénega Grande y Ciénega Chica). En el caso del grupo A es destacable su separación geográfica entre sí de los dos sitios de muestreo, por lo que la oportunidad de un recambio de especies entre ambos es poco probable, resultando entonces en su índice de Jaccard (0.67). El grupo B presentó igualmente un bajo índice de Jaccard (0.67), pese a tratarse de dos sitios de muestreo cercanos geográficamente. El grupo C, por su parte, presentó el mayor índice de similitud de Jaccard (0.8125), siendo estos sitios directamente conectados el uno del otro, lo que facilitaría el recambio de aguas y especies entre ellos. Por último, el caso del grupo D es similar al del grupo B, donde los dos sitios de muestreo se encuentran conectados directamente, pero sus índices de similitud de Jaccard siguen siendo relativamente bajos (0.65).

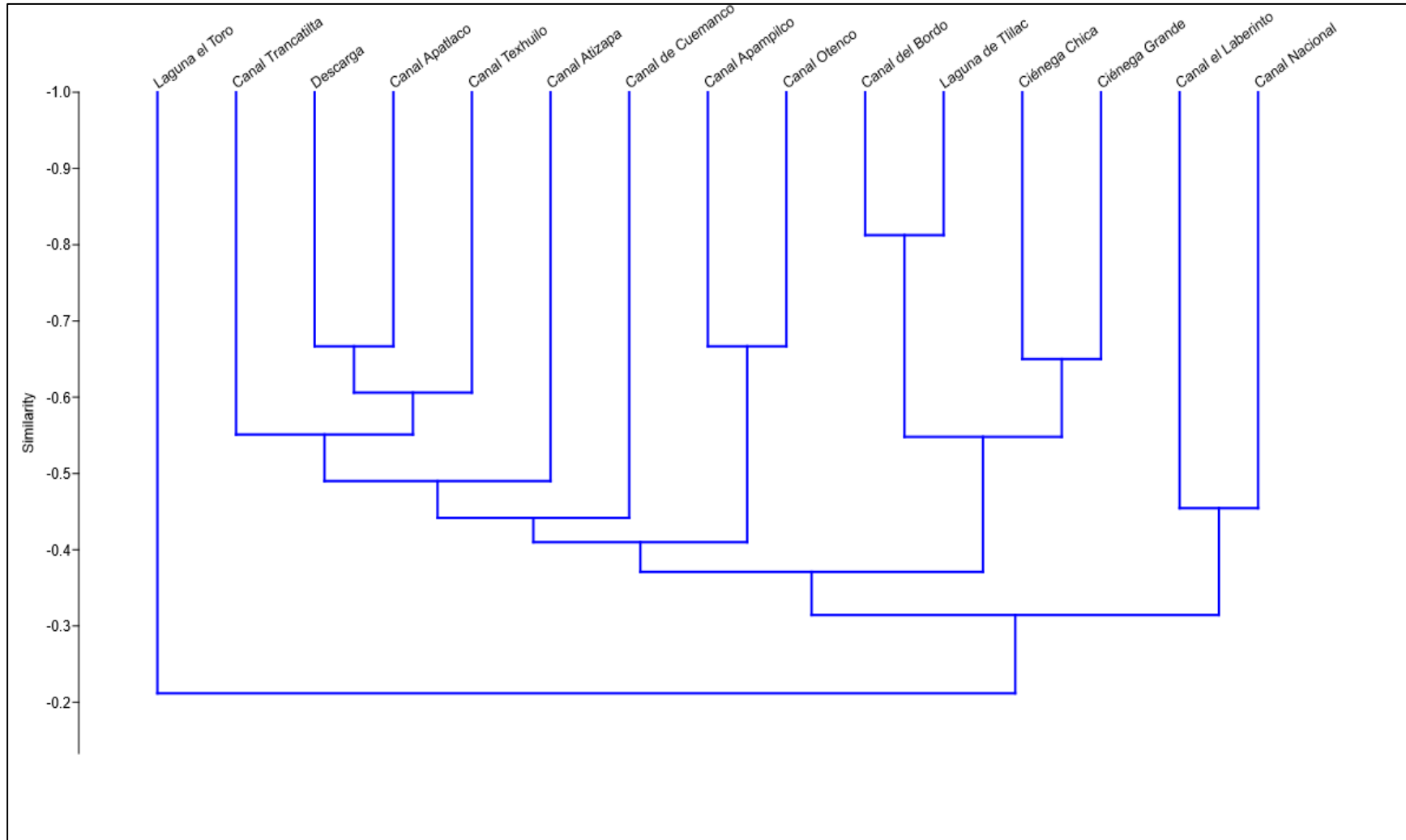


Figura 8. Dendrograma de análisis clúster de conglomerados entre sitios de muestreo. (Correlación cofenética = 0.7998).

8.4 Análisis de Ordenación

Las variables fisicoquímicas del agua juegan un papel importante en la distribución y abundancia de las especies de macroinvertebrados bentónicos, es así como el análisis de ordenación busca arrojar luz en esta relación en las investigaciones de comunidades ecológicas. Los resultados del presente análisis, representados en diagramas de ordenación, se analizaron desde las perspectivas de las siguientes relaciones: especie-sitio, especie-especie y especie-variable. Las relaciones sitio-sitio (abordadas con el análisis Q de agrupación), variable-variable y sitio-variable se omitieron dentro de este análisis en particular debido a que no formaban parte del objetivo del presente análisis, o se trataron en otros análisis dentro de este trabajo. En cada análisis, se utilizaron los logaritmos de las variables fisicoquímicas y las abundancias de las especies (usando la función $\log(x+1)$ con el fin de evitar los problemas del logaritmo de 0), con el fin de reducir el peso de números muy grandes (Ter Braak, 1986; Greenacre, 2008). Además, se removieron variables fisicoquímicas que no afectaron notablemente en la distribución de las especies y sitios de muestreo (Ter Braak, 1986), con el fin de evitar una saturación de variables y ruido en los diagramas de ordenación.

En el análisis de ordenación realizado para la Zona Lacustre de Xochimilco (2017 – 2019), las variables ambientales en conjunto con las especies explicaron el 59.6% de la varianza de los promedios medidos para las 25 especies y 11 variables fisicoquímicas, obteniendo una suma total de los eigenvalues de 0.796 (Figura 9). Analizando las relaciones sitio-especie, se observa una similitud notoria entre la mayoría de los sitios de muestreo a lo largo de los 3 años de muestreo, agrupándolos casi uniformemente en el centro del diagrama de ordenación. De esta manera, se observa cómo las características ambientales de los sitios fueron preferidas por las especies *Aeshna multicolor*, *Archilestes grandis*, *Buenoa sp.*, *Belostoma sp.*, *Paracymus mexicanus* y *Physa osculans*. Por otra parte, dicha disposición de los sitios en el diagrama de ordenación sugiere una pobre correlación entre los sitios de muestreo y la distribución de las demás especies a lo largo de sus gradientes ambientales preferidos.

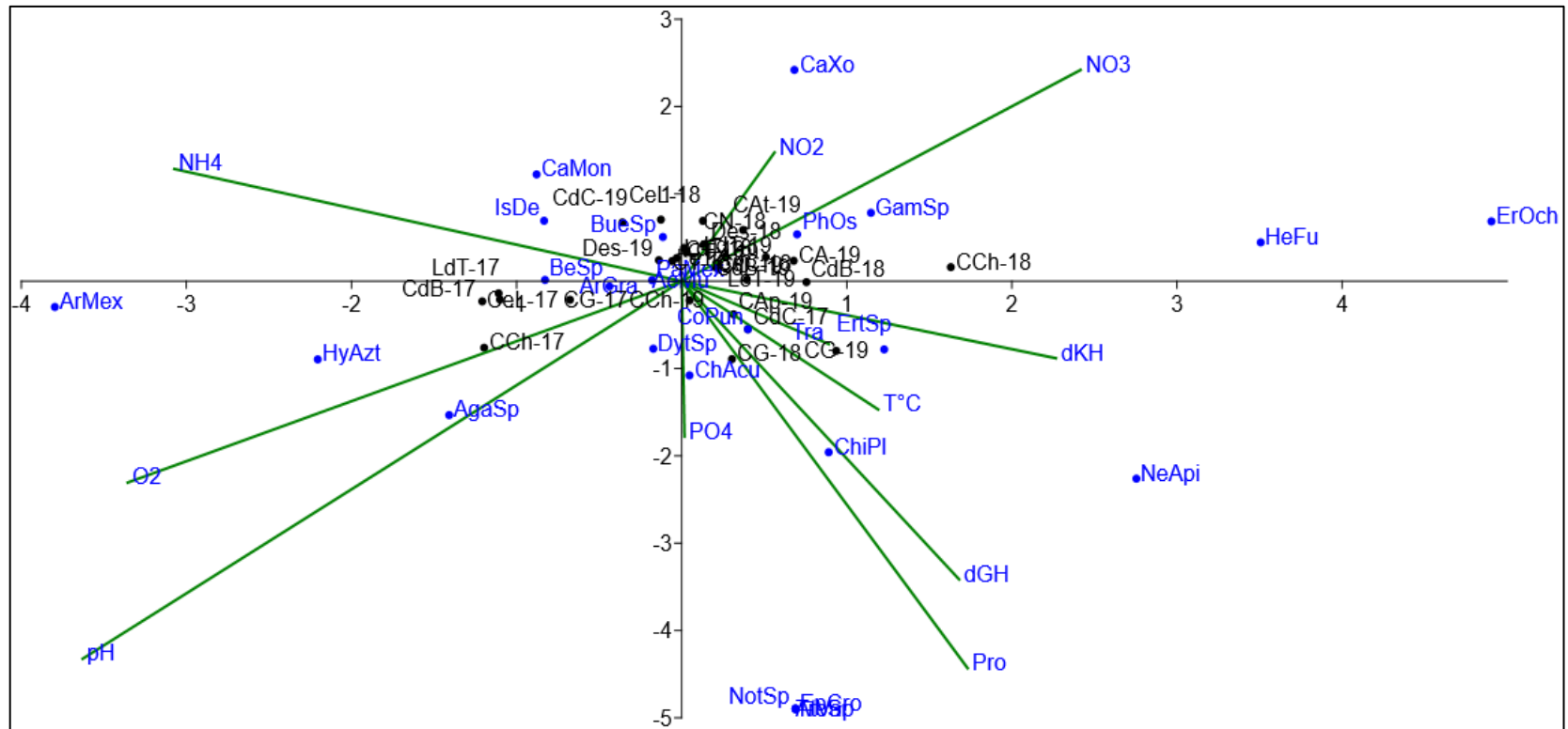


Figura 9. Diagrama de ordenación del análisis de correspondencia canónica (ACC), correspondiente a los muestreos realizados en la Zona Lacustre de Xochimilco entre 2017 -2019. Los sitios de muestreo (representados por puntos negros y etiquetados con su año correspondiente): CG = Ciénega Grande; CCh = Ciénega Chica, CdC = Canal de Cuemanco; CdB = Canal del Bordo; CeL = Canal el Laberinto; CN = Canal Nacional; CT = Canal Trancatilta, Des = Descarga; LdT = Laguna de Tlilac; LeT = Laguna el Toro; CA = Canal Apampilco; CAP = Canal Apatlaco; CO = Canal Otenco; CTx = Canal Texhuilo. Los parámetros fisicoquímicos (representados por vectores color verde): T°C = Temperatura del agua; pH = Potencial de Hidrógeno; O2 = Oxígeno disuelto; Tra = Transparencia; Pro = Profundidad; NO3 = Nitratos; NO2 = Nitritos, NH4 = Amonio; PO4 = Fosfatos; dGH = Dureza General; dKH = Dureza Carbonatada. Las especies de macroinvertebrados bentónicos (representados por puntos azules): AeMu = *Aeshna multicolor*; AgaSp = *Agabus sp.*; ArGra = *Archilestes grandis*; ArMex = *Argulus mexicanus*; AtVar = *Atylotus vargasi*; BeSp = *Belostoma sp.*; BueSp = *Buenoa sp.*; CaMon = *Cambarellus montezumae*; CaXo = *Caecidotea xochimilca*; ChAcu = *Chimarra acuta*; ChiPI = *Chironomus plumosus*; CoPun = *Corixa punctata*; DytSp = *Dytiscus sp.*; EpCro = *Erpetogomphus crotalinus*; ErOch = *Erbodella ochoterenai*; ErtSp = *Erythemis sp.*; GamSp = *Gammarus sp.*; HeFu = *Helobdella fusca*; HyAzt = *Hyaella azteca*; IsDe = *Ischnura denticollis*; NeApi = *Nepa apiculata*; NotSp = *Notonecta sp.*; PaMex = *Paracymus mexicanus*; PhOs = *Physa osculans*; TroSp = *Tropisternus sp.*

El diagrama de ordenación (Figura 7), también muestra una marcada relevancia del oxígeno disuelto, pH, dureza carbonatada, amonio y nitratos en la distribución de las especies en la Zona Lacustre de Xochimilco, ilustrada por el tamaño relativamente mayor en comparación con el resto de las variables fisicoquímicas analizadas. Referente a las relaciones especie-variables ambientales mostradas en el análisis de ordenación, las proyecciones de los macroinvertebrados (puntos azules) en relación con las variables ambientales (vectores) mostraron como *Argulus mexicanus* presenta preferencia a ambientes con altos valores de oxígeno disuelto y amonio, similar a *Hyalella azteca* que, a su vez, mostró mayor abundancia en aguas alcalinas. *Aeshna multicolor*, *Belostoma sp.* y *Archillectes grandis* por su parte, prefirieron ambientes con valores bajos de dichas variables, así como bajos niveles de dureza carbonatada. Por otro lado, *Cambarellus montezumae* e *Ischnura denticollis*, mostraron preferencia por ambientes con niveles medios de nitritos y amonio, en contraste con *Buenoa sp.*, que mostró tendencia a aumentar su abundancia en ambientes con niveles bajos de dichas variables. En el caso de *Paracymus mexicanus*, *Physa osculans* y *Gammarus sp.* presentaron una marcada preferencia a ambientes con bajas concentraciones de nitratos, con las últimas dos especies mostrando mayor tolerancia a valores más elevados de este parámetro. Para el caso de *Erithemys sp.*, la especie presentó una preferencia por ambientes con aguas transparentes, bajas en amonio y con valores medios de dureza carbonatada. El hemíptero *Corixa punctata* presentó una preferencia a ambientes con temperaturas medias a altas, valores altos de dureza general en el agua y bajas concentraciones de amonio. De forma similar, *Chironomus plumosus* se relaciona positivamente con valores altos de dureza general, además de aguas muy profundas. *Chimarra acuta* mostró una marcada preferencia por ambientes ricos en fosfatos, similar a *Dytiscus sp.*, especie que además aumenta su abundancia relativa frente a aguas ligeramente alcalinas. En el caso de *Agabus sp.*, mostró marcada preferencia por ambientes ricos en oxígeno y con aguas ligeramente alcalinas. Las especies *Caecidotea xochimilca*, *Helobdella fusca*, *Erpobdella ochoterenai*, *Nepa apiculata*, *Notonecta sp.*, *Tropisternus sp.*, *Erpetogomphus crotalinus* y *Atylotus vargasi* no mostraron una

correlación evidente con las variables ambientales en el diagrama de ordenación, en gran parte debido a que muchas de ellas tuvieron 1 o 2 registros a lo largo del estudio.

Tabla 8. Macroinvertebrados bentónicos identificados en la Zona Lacustre de Xochimilco (2017-2019) y sus valores de tolerancia asignados para dos índices bióticos de calidad del agua: Biological Monitoring Working Party (BMWP) y Family Biotic Index (FBI).

Orden	Familia	Especie	BMWP	FBI	San Gregorio Atlapulco	Canales de Xochimilco
Arhynchobdellida	Erpobdellidae	<i>Erpobdella ochoterenai</i>	3	N/A	X	O
Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Helobdella fusca</i>	3	8	O	O
Isopoda	Asellidae	<i>Caecidotea xochimilca</i>	2	8	X	O
Amphipoda	Gammaridae	<i>Gammarus sp.</i>	4	6	O	O
	Hyalellidae	<i>Hyalella azteca</i>	2	8	O	O
Arguloidea	Argulidae	<i>Argulus mexicanus</i>	N/A	N/A	X	O
Decapoda	Cambaridae	<i>Cambarellus montezumae</i>	3	6	X	O
Coleoptera	Dytiscidae	<i>Agabus sp.</i>	5	6	O	O
		<i>Dytiscus sp.</i>	5	6	O	O
	Hydrophilidae	<i>Paracymus mexicanus</i>	5	5	O	O
		<i>Tropisternus sp.</i>	5	5	O	X
Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	2	8	O	O
	Tabanidae	<i>Atylotus vargasi</i>	5	6	O	X
Hemiptera	Belostomatidae	<i>Belostoma sp.</i>	3	10	O	O
	Corixidae	<i>Corixa punctata</i>	5	5	O	O
	Nepidae	<i>Nepa apiculata</i>	5	N/A	O	X
	Notonectidae	<i>Buena sp.</i>	5	4	O	O
<i>Notonecta sp.</i>		5	4	O	X	
Odonata	Aeshnidae	<i>Aeshna multicolor</i>	8	3	O	O
	Coenagrionidae	<i>Ischnura denticollis</i>	2	9	O	O
	Gomphidae	<i>Erpetogomphus crotalinus</i>	8	1	O	X
	Lestidae	<i>Archilestes grandis</i>	1	9	O	O
	Libellulidae	<i>Erythemis sp.</i>	3	9	O	O
Trichoptera	Philopotamidae	<i>Chimarra acuta</i>	8	3	X	O
Basommatophora	Physidae	<i>Physa osculans</i>	3	8	O	O

Presencia-ausencia de las especies en cada área de estudio. Presencia = O; Ausencia = X.

Las puntuaciones asignadas a cada especie en cada índice biótico representan su sensibilidad a la contaminación: Desde muy sensibles (i.e. 10 en BMWP y 0 en FBI) hasta muy resistentes (i.e. 0 en BMWP y 10 en FBI)

8.5 Identificación de especies bioindicadoras

Las especies identificadas de macroinvertebrados en la Zona Lacustre de Xochimilco, sólo dos especies del orden Odonata (*Aeshna multicolor* y *Erpetogomphus crotalinus*) así como el tricóptero *Chimarra acuta* pertenecen a especies intolerantes a contaminantes en el agua, de acuerdo con ambos índices bióticos de calidad del agua (Tabla 8). De las tres especies, ambas especies de odonatos se identificaron en el Lago de San Gregorio Atlapulco, mientras que, en los canales de Xochimilco, sólo se registró presencia de *A. multicolor* y *C. acuta*. Debido a su relativamente alta intolerancia a la contaminación, las tres especies podrían considerarse como posibles bioindicadores para la Zona Lacustre de Xochimilco.

8.6 Caracterización del hábitat

Se observó una evidente diferenciación de las presiones ambientales de origen antrópico presentes en las dos áreas de estudio (Tablas 9). En el Lago de San Gregorio Atlapulco, las actividades humanas realizadas en los alrededores son estrictamente agrícolas-ganaderas, mientras que en cada uno de los sitios de los Canales de Xochimilco existían distintos usos del suelo, donde además de las dos actividades mencionadas, algunos sitios presentaban urbanización aledaña, presencia turística y actividad pecuaria. De acuerdo con las observaciones *in situ*, la coloración de todas las aguas varió de entre un verde claro a un café, coloración típica de aguas con carga orgánica importante, lo cual así mismo fue evidente por la prevalencia de la vegetación marginal y emergente en los cuerpos de agua. Por otro lado, únicamente las aguas del Lago de San Gregorio Atlapulco presentaron constante aroma a descomposición, siendo en este caso, la mayoría de los Canales de Xochimilco los que presentaron aguas inodoras.

Tabla 9. Caracterización de la Zona Lacustre de Xochimilco

Sitio	Laguna de San Gregorio Atlapulco					
	Ciénega Grande			Ciénega Chica		
Año	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Coordenadas	19°16'22.75" N 99°3'36.49" O			19°16'7.70" N 99°3'17.54" O		
Altitud (msnm)	2240			2240		
Temperatura ambiente (°C)	22.95	19.07	23	21.6	22	20.5
Coloración	Verde oscuro	Café		Café		Verde oscuro
Olor	Descomposición de materia orgánica			Descomposición de materia orgánica	Inodora	Descomposición de materia orgánica
Vegetación	Emergente y Marginal	Emergente y Sumergida	Emergente y Marginal	Emergente y Marginal	Emergente, Sumergida	Emergente y Sumergida
Actividad Antropogénica	Agrícola-Ganadera			Agrícola-Ganadera		

Tabla 9. Caracterización de la Zona Lacustre de Xochimilco... (Continuación).

Sitio	Canales de Xochimilco				
	Canal del Bordo			Canal Trancatilta	
Año	2017	2018	2019	2018	2019
Coordenadas		19°17'07.9" N		19°16'52.5" N	
		99°05'41.5" O		99°05'48.2" O	
Altitud (msnm)		2240		2240	
Temperatura ambiente (°C)	22.5	19.33	17	17	19
Coloración	Verde oscuro	Verde olivo	Café	Verde olivo	Café
Olor		Inodora	Descomposición de materia orgánica	Inodora	Descomposición de materia orgánica
Vegetación		Emergente y Sumergida		Emergente y Sumergida	
Actividad Antropogénica		Agrícola-Ganadera y Turística		Agrícola-Ganadera	Ganadera-Agropecuaria

Tabla 9. Caracterización de la Zona Lacustre de Xochimilco... (Continuación).

Sitio	Canales de Xochimilco					
	Canal de Cuemanco			Canal Nacional	Canal el Laberinto	
Año	2017	2018	2019	2018	2017	2018
Coordenadas	19°16'50.2" N			19°16'13.9" N	19°16' 51.5" N	
	99°06'10.1" O			99°06'18.7" O	99° 06' 05.9" O	
Altitud (msnm)	2240			2240	2240	
Temperatura ambiente (°C)	19	18.7	19	15	22.95	19.1
Coloración	Verde oscuro	Verde olivo	Café	Verde olivo	Verde oscuro	Verde olivo
Olor	Inodora	Descomposición de materia orgánica		Inodora	Inodora	
Vegetación	Flotante			Flotante	Emergente y Sumergida	Flotante
Actividad Antropogénica	Urbanización-Turística			Urbanización-Turística	Agrícola-Urbanización-Turística	Agrícola-Ganadera

Tabla 9. Caracterización de la Zona Lacustre de Xochimilco... (Continuación).

Sitio	Canales de Xochimilco					
	Laguna de Tlilac			Laguna el Toro		Canal de Otenco
Año	2017	2018	2019	2018	2019	2019
Coordenadas	19°17'02.1" N			19°16'14.4" N		19°16'37.58" N
	99°05'37.1" O			99°06'18.3" O		99°5'24.59" O
Altitud (msnm)	2240			2240		
Temperatura ambiente (°C)	23.25	19.10	18	20	16	19
Coloración	Verde oscuro	Verde olivo	Café	Verde olivo	Café	Café
Olor	Inodora			Inodora	Descomposición de materia orgánica	Inodora
Vegetación	Emergente y Sumergida			Flotante		Emergente y Sumergida
Actividad Antropogénica	Urbanización-Turística	Agrícola-Turística	Agropecuaria	Agrícola-Ganadera		Agropecuaria

Tabla 9. Caracterización de la Zona Lacustre de Xochimilco... (Continuación).

Sitio	Canales de Xochimilco				
	Canal Apampilco	Canal Apatlaco	Canal Texhuilo	Canal Atizapa	Descarga
Año	2019	2019	2019	2019	2018 2019
Coordenadas	19°16'25.80" N	19°16'57.79" N	19°16'39.22" N	19°16'53.06" N	19°16'16.2" N
	99°5'39.63" O	99°5'46.82" O	99°5'56.05" O	99°5'59.18" O	99°06'17.8" O
Altitud (msnm)	2240	2240	2240	2240	2240
Temperatura ambiente (°C)	18	17	17	19	16.5 16
Coloración	Café	Café	Café	Café	Café
Olor	Inodora	Inodora	Inodora	Inodora	Inodora
Vegetación	Emergente y Sumergida	Emergente y Sumergida	Emergente y Sumergida	Emergente y Sumergida	Emergente y Sumergida
Actividad Antropogénica	Agropecuaria	Agropecuaria	Agropecuaria	Agropecuaria	Urbanización

8.7 Análisis fisicoquímico de la calidad del agua

De acuerdo con las variables fisicoquímicas obtenidas en el Lago de San Gregorio Atlapulco (Tabla 10), en promedio, el sitio Ciénega Grande presentó menores temperaturas, lo que en parte se tradujo en sus mayores niveles de oxígeno disuelto con respecto a Ciénega Chica. Referente a sus transparencias y profundidades, ambos sitios de muestreo mostraron un promedio similar. Ambos sitios de muestreo presentaron aguas con tendencia a la alcalinidad, siendo Ciénega Grande el sitio con valores más altos de pH. Referente a los valores de compuestos nitrogenados, Ciénega Chica tuvo más del doble de concentración promedio de dichos compuestos, en comparación con Ciénega Grande, siendo los nitritos y nitratos aquellos con valores más elevados. En lo que respecta a fosfatos, Ciénega Grande arrojó los valores más elevados de los dos sitios. Así mismo, Ciénega Grande presentó mayores niveles de dureza en el agua, pese a que ambos sitios presentan aguas del tipo potable-duras (CONAGUA, 2019).

Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos del Lago de San Gregorio Atlapulco entre los años 2017 y 2019.

Parámetros	Ciénega Grande				Ciénega Chica			
	2017	2018	2019	\bar{X}	2017	2018	2019	\bar{X}
<i>T</i> (°C)	22.9	19.1	23	21.7	21.6	22	20.5	21.4
<i>T Agua</i> (°C)	20.8	18.4	21.4	20.2	20.2	21.6	19.4	20.4
<i>pH</i>	8.2	8.3	8.5	8.3	8.5	6.4	9	8
<i>OD</i> (mg/L)	7.5	10.5	10	9.3	9	4.5	5.9	6.4
<i>SO₂</i> (%)	89.8	119.4	120.9	110	106.3	54.2	68.3	76.3
<i>Transp</i> (cm)	31.1	31.2	33.4	31.9	26	40	32.5	32.8
<i>Prof</i> (cm)	131.6	152.5	175	153	153	130	152.5	145.2
<i>NO₃</i> (mg/L)	1.1	0.8	1.1	1.0	1.1	4.5	1.1	2.3
<i>NO₂</i> (mg/L)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.2
<i>NH₄</i> (mg/L)	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1
<i>N Total</i> (mg/L)	1.3	0.9	1.3	1.2	1.3	4.9	1.5	2.5
<i>PO₄</i> (mg/L)	3.6	4.2	2.5	3.4	2.5	5	1.4	3
<i>dGH</i> (mg/L)	200	200	220	206.7	176.0	120	120	138.7
<i>dKH</i> (mg/L)	110	180	180	156.7	112.0	180	140	144

T = Temperatura; *OD* = Oxígeno disuelto; *SO₂* = Saturación de Oxígeno disuelto; *Transp* = Transparencia; *Prof* = Profundidad; *NO₃* = Nitratos; *NO₂* = Nitritos; *NH₄* = Amonio; *N* = Nitrógeno; *PO₄* = Fosfatos; *dGH* = Dureza general; *dKH* = Dureza carbonatada.

Con base a los valores registrados el Lago de San Gregorio Atlapulco y, los índices de calidad de agua y los límites máximos permisibles (SEMARNAT, 1997), los valores de temperatura del agua, pH, nitrógeno y fósforo totales no superan los máximos permisibles. De igual forma, con respecto a los valores de saturación de oxígeno disuelto, la calidad del agua en el área de estudio es “excelente” (Conagua, 2019).

Para el caso de los Canales de Xochimilco, las variables fisicoquímicas obtenidas, se analizaron individualmente en cada canal, debido a la heterogeneidad de los datos registrados entre canales (Tabla 11). Analizando los promedios registrados de todos los canales muestreados en el presente estudio, los valores de temperatura de agua y pH no superan los límites máximos establecidos (SEMARNAT, 1997), y salvo contados casos, los valores de pH de la zona se encuentran dentro del rango de normalidad en aguas naturales (Roldán-Pérez, 1992; Conde y Gorga, 2016).

Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos en Canales de Xochimilco durante entre los años 2017 y 2019.

Parámetros	Canal del Bordo				Canal Trancatilla			Canal de Cuemanco			
	2017	2018	2019	\bar{X}	2018	2019	\bar{X}	2017	2018	2019	\bar{X}
<i>T</i> (°C)	22.5	19.3	17	19.6	17	19	18	19	18.7	19	18.9
<i>T Agua</i> (°C)	22.7	18	19.7	20.1	15.6	17.5	16.5	21	18.8	23	20.9
<i>pH</i>	8.1	7.9	6.7	7.5	8.7	7.6	8.1	7.2	7.7	9	8
<i>O₂</i> (mg/L)	9.1	11.3	8.5	9.6	9.3	4.4	6.9	9.8	11.3	17.7	12.9
<i>SO₂</i> (%)	112.3	127.3	99	112.9	100.5	49.7	75.1	117.3	129.9	219.1	155.5
<i>Transp</i> (cm)	47	18.3	23	29.4	15	15.5	15.2	44	38.3	18	33.4
<i>Prof</i> (cm)	55	56.7	68	59.9	50	95.5	72.7	108	102.3	55	88.4
<i>NO₃</i> (mg/L)	4.5	1.5	1.1	2.4	0.0	7.9	4	4.5	3.0	1.1	2.9
<i>NO₂</i> (mg/L)	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1	0.3	0.0	0.1
<i>NH₄</i> (mg/L)	0.1	0.1	0.6	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3	0.1
<i>N Total</i> (mg/L)	4.7	1.7	1.8	2.7	0.1	8.2	4.2	4.6	3.4	1.5	3.2
<i>PO₄</i> (mg/L)	3.7	5.0	1.8	3.5	5	1.4	3.2	2.5	5.0	1.8	3.1
<i>dGH</i> (mg/L)	180	120	100	133.3	100	200	150	140	106.7	120	122.2
<i>dKH</i> (mg/L)	140	156.7	120	138.9	80	110	95	180	110	150	146.7

\bar{X} = Promedio; *T* = Temperatura; *OD* = Oxígeno disuelto; *SO₂* = Saturación de Oxígeno disuelto; *Transp* = Transparencia; *Prof* = Profundidad; *NO₃* = Nitratos; *NO₂* = Nitritos; *NH₄* = Amonio; *N* = Nitrógeno; *PO₄* = Fosfatos; *dGH* = Dureza general; *dKH* = Dureza carbonatada.

Sin embargo, el valor de nitrógeno total promedio del sitio de muestreo “Descarga”, superó el máximo permisible (i.e. 15 mg/L), y el sitio de Canal Atizapa reflejó el segundo promedio más elevado del muestreo (11.36 mg/L). De forma similar, los valores promedios de fosfatos de los sitios Canal el Laberinto, Canal Apampilco y Canal Texhuilo, son iguales al límite máximo permisible para fósforo total.

Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos en Canales de Xochimilco durante entre los años 2017 y 2019... (Continuación).

Parámetros	Canal Nacional	Canal el Laberinto			Laguna de Tlilac				Laguna el Toro		
	2018	2017	2018	̄	2017	2018	2019	̄	2018	2019	̄
<i>T</i> (°C)	15	23	19.1	21	23.3	19.1	18	20.1	20	16	18
<i>T Agua</i> (°C)	17.6	21.3	18.1	19.7	21.2	18.3	18.7	19.4	21	20.2	20.6
<i>pH</i>	7	7.5	7.7	7.6	7.5	8.4	8.2	8.0	7.6	7.2	7.4
<i>O₂</i> (mg/L)	2.7	6.2	7.8	7	9.7	14.1	8.7	10.8	12.7	4.8	8.7
<i>SO₂</i> (%)	30.2	75.3	88.6	82	116.5	160.1	99.9	125.5	152	56	104
<i>Transp</i> (cm)	65	46.5	13.5	30	39.5	18.3	21.5	26.4	40	38	39
<i>Prof</i> (cm)	75	60.5	60	60.3	43.5	53.3	66	54.3	60	101	80.5
<i>NO₃</i> (mg/L)	1.1	4.5	1.7	3.1	2.8	1.1	2.8	2.3	1.1	4.5	2.8
<i>NO₂</i> (mg/L)	0.0	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0
<i>NH₄</i> (mg/L)	0.0	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1	0.7	0.3	0.6	0.0	0.3
<i>N Total</i> (mg/L)	1.2	5.2	1.9	3.6	3.0	1.3	4	2.7	1.8	4.6	3.2
<i>PO₄</i> (mg/L)	1.8	5	5	5	5	3.7	2.6	3.8	5.0	2.5	3.8
<i>dGH</i> (mg/L)	200	170	115	142.5	160	140	170	156.7	200	80	140
<i>dKH</i> (mg/L)	210	140	65	102.5	145	76.7	95	105.6	300	100	200

̄ = Promedio; *T* = Temperatura; *OD* = Oxígeno disuelto; *SO₂* = Saturación de Oxígeno disuelto; *Transp* = Transparencia; *Prof* = Profundidad; *NO₃* = Nitratos; *NO₂* = Nitritos; *NH₄* = Amonio; *N* = Nitrógeno; *PO₄* = Fosfatos; *dGH* = Dureza general; *dKH* = Dureza carbonatada.

Referente a los valores de saturación de oxígeno disuelto (*SO₂*) registrados en los Canales de Xochimilco, la calidad del agua es “excelente” en Canal del Trancatilla, Canal el Laberinto, Canal Texhuilo y Laguna el Toro (Conagua, 2019). En los sitios de Canal del Bordo y Descarga presentaron una calidad del agua buena según sus valores de *SO₂*. De los sitios Canal Nacional, Canal Apampilco, Canal Otenco, Laguna de Tlilac se obtuvieron valores promedio de *SO₂* que reflejaron una calidad de agua “aceptable”. Sin embargo, los sitios de Canal Apatlaco, Canal

Atizapa presentaron niveles de SO₂ correspondientes a aguas “contaminadas”, y aguas “muy contaminadas” en el Canal de Cuemanco.

Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos en Canales de Xochimilco durante entre los años 2017 y 2019... (Continuación).

Parámetros	Canal Otenco	Canal Apampilco	Canal Apatlaco	Canal Texhuilo	Canal Atizapa	Descarga		
	2019	2019	2019	2019	2019	2018	2019	̄
<i>T</i> (°C)	19	18	17	17	19	16.5	16	16.3
<i>T Agua</i> (°C)	17	17	15	22	17	18.5	17	17.8
<i>pH</i>	7.8	8.1	7.1	7.5	7.7	7	7	7
<i>O₂</i> (mg/L)	4.4	2.8	1.4	6.9	2	6.2	4.6	5.4
<i>SO₂</i> (%)	48.7	30.8	14.4	84.3	21.8	70.5	50.4	60.4
<i>Transp</i> (cm)	20	10	20	30	10	40	69.5	54.8
<i>Prof</i> (cm)	160	130	120	160	60	130	106	118
<i>NO₃</i> (mg/L)	1.1	1.2	1.1	0.0	11.4	18.1	12.9	15.5
<i>NO₂</i> (mg/L)	0.1	0.0	0.2	0.1	0.5	0.7	0.7	0.7
<i>NH₄</i> (mg/L)	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
<i>N Total</i> (mg/L)	1.3	1.4	1.4	0.2	11.9	18.8	13.6	16.2
<i>PO₄</i> (mg/L)	2.5	5	2.5	5	2.5	5	1	3
<i>dGH</i> (mg/L)	200	160	180	160	140	120	110	115
<i>dKH</i> (mg/L)	90	70	90	100	70	90	60	75

̄ = Promedio; *T* = Temperatura; *OD* = Oxígeno disuelto; *SO₂* = Saturación de Oxígeno disuelto; *Transp* = Transparencia; *Prof* = Profundidad; *NO₃* = Nitratos; *NO₂* = Nitritos; *NH₄* = Amonio; *N* = Nitrógeno; *PO₄* = Fosfatos; *dGH* = Dureza general; *dKH* = Dureza carbonatada.

8.8 Análisis biótico de la calidad del agua

Los análisis de calidad del agua con índices bióticos se realizaron en cada uno de los sitios, así como a cada área en conjunto. De acuerdo con el índice de Biological Monitoring Working Party (BMWP) obtenido (Tabla 12) se observa que la calidad del agua en el Lago de San Gregorio Atlapulco se encuentra contaminada (Tabla 1), siendo Ciénega Chica el sitio con mayor contaminación del área. Particularmente, se observaron mayores valores de BMWP en Ciénega Grande, alcanzando una calidad moderadamente contaminada del agua para el 2018, que caería para el siguiente año, en el que cabe resaltar que se obtuvieron muy pocas capturas de macroinvertebrados. En el caso de Ciénega Chica, se observa una aparente recuperación de la calidad del agua, mejorando notablemente año tras año.

Por otro lado, utilizando el Índice Biótico de Familias (FBI) para evaluar la calidad del agua del Lago de San Gregorio Atlapulco, los resultados generales apuntan a una contaminación orgánica moderada en el área de estudio (Tabla 12). En contraste con el uso del BMWP, el FBI sugiere que, en promedio, la calidad del agua en ambos sitios del área se encuentra moderadamente contaminada (Tabla 2), reflejando así la sensibilidad del FBI a las abundancias relativas de las especies incluidas en el análisis. Ambos índices apuntan, sin embargo, a una menor calidad del agua en el año 2017 en contraste con los años posteriores, indicando así una contaminación moderada en el Lago de San Gregorio Atlapulco para el final del presente estudio.

Tabla 12. Índices Bióticos de Análisis de calidad del agua registrados en Lago de San Gregorio Atlapulco (2017-2019).

Sitio de Muestreo	BMWP				FBI			
	2017	2018	2019	\bar{X}	2017	2018	2019	\bar{X}
Ciénega Grande	31	73	16	40	6.1	5	7.9	6.3
Ciénega Chica	7	23	41	23.7	7	6.3	4.6	6
Total en Área	31	76	47	51.3	6.1	5	5.5	5.6

Escala de colores del Índice de BMWP: **Azul marino**, "Agua de excelente calidad"; **Azul**, "Agua de buena calidad"; **Verde**, "Agua moderadamente contaminada"; **Amarillo**, "Agua contaminada"; **Naranja**, "Agua muy contaminada"; **Rojo**, "Agua extremadamente contaminada".

En los Canales de Xochimilco, de acuerdo con el BMWP obtenido (Tabla 13), se observa que la calidad del agua, en general, se encuentra contaminada (Tabla 1). Dentro del área de estudio, Canal de Cuemanco y Laguna el Toro son los sitios con aguas extremadamente contaminadas, de acuerdo con el BMWP, mientras que el Canal Otenco, Descarga y Canal Apatlaco fueron los sitios con mejor calidad del agua en promedio, permaneciendo dentro de la categoría de aguas muy contaminadas.

Por otra parte, el Índice Biótico de Familias (FBI) indica que los Canales de Xochimilco presentan una contaminación orgánica moderada en promedio, mejorando en calidad gradualmente a través de los 3 años del estudio, de una contaminación orgánica muy significativa a una contaminación orgánica mínima (Tabla 13). Particularmente, los sitios con contaminación orgánica significativa

fueron Canal de Cuemanco y Canal Otenco, mientras que, por el contrario, el Canal del Bordo fue el sitio con un FBI más bajo, sugiriendo una contaminación orgánica ligera local.

Tabla 13. Índices Bióticos de análisis de calidad del agua registrados en los Canales de Xochimilco (2017-2019).

Sitio de Muestreo	BWMP				FBI			
	2017	2018	2019	\bar{X}	2017	2018	2019	\bar{X}
Canal del Bordo	31	37	14	26.7	7.7	6.9	4.3	6.4
Canal Trancatilta	-	18	43	30.5	-	3.8	4.8	4.2
Canal de Cuemanco	5	25	13	14.3	5	6.2	6.4	7.3
Canal Nacional	-	22	-	28	-	5.3	-	4.9
Canal el Laberinto	26	25	-	25.5	7.5	5.6	-	6.4
Laguna de Tililac	26	37	28	32	8.3	5.1	5	6.3
Laguna el Toro	-	9	8	10.5	-	7.5	5.2	6.3
Canal Otenco	-	-	27	33	-	-	7	7.1
Canal Apampilco	-	-	20	22	-	-	5.6	5.6
Canal Apatlaco	-	-	42	48	-	-	7.1	6.4
Canal Texhuilo	-	-	30	24	-	-	6.7	6.1
Canal Atizapa	-	-	25	19	-	-	6.8	5.7
Descarga	-	17	41	32.5	-	6.5	4.8	6
Total en Área	31	55	56	48	7.7	6.1	5.2	6.3

Escala de colores del Índice de BMWP: **Azul marino**, "Agua de excelente calidad"; **Azul**, "Agua de buena calidad"; **Verde**, "Agua moderadamente contaminada"; **Amarillo**, "Agua contaminada"; **Naranja**, "Agua muy contaminada"; **Rojo**, "Agua extremadamente contaminada".

En ambas áreas de estudio se observó que su calidad del agua se ha visto comprometida, presentando un grado considerable de contaminación; sin embargo, que a su vez se ha visto reducido con el paso del tiempo.

8 DISCUSIÓN

El total de familias capturadas e identificadas en el presente estudio fue de 22, siendo 7 familias menos que en las reportadas por Merlo-Galeazzi (2014) y Zambrano *et al.* (2014), lo cual puede atribuirse al esfuerzo de muestreo en los sitios abordados en este estudio. Sin embargo, en este trabajo se registraron 9 especies previamente sólo registradas en listados taxonómicos (Philip, 1954, Aristizábal-García, 2016), las cuales son *Gammarus sp.*, *Agabus sp.*, *Atylotus vargasi*, *Corixa*

punctata, *Nepa apiculata*, *Erpetogomphus crotalinus*, *Archilestes grandis*, *Erythemis sp.* y *Chimarra acuta*, actualizando y enriqueciendo el conocimiento que se tiene actualmente de las especies de macroinvertebrados presentes en la zona de estudio.

Debido a que los métodos de muestreo empleados en estudios similares al presente en la Zona Lacustre de Xochimilco fueron realizados con esfuerzos de muestreo y en extensiones geográficas distintas entre sí (Merlo-Galeazzi, 2014; Zambrano-González *et al.*, 2014; Rocha-Ramírez *et al.*, 2014; Vázquez-Silva *et al.*, 2017), es difícil establecer un punto de comparación entre los valores de riqueza y diversidad de macroinvertebrados (Koperski, 2011). Inclusive, en el presente estudio se presentaron variaciones en el esfuerzo de muestreo, que tornan la comparación entre años de la riqueza y diversidad más complicada. Sin embargo, pese a que en ocasiones omitidos en la determinación de la diversidad de macroinvertebrados bentónicos, los factores bióticos, *i.e.* depredación y parasitismo, son capaces de modificar significativamente la diversidad (Vázquez *et al.*, 2006; Koperski, 2011). En el presente estudio, se observa una respuesta positiva de la riqueza y diversidad de macroinvertebrados ante el aumento del grupo trófico de depredadores, comportamiento teóricamente esperado (Paine, 1966). Por lo que se puede asumir que, parámetros fisicoquímicos aparte, los gremios tróficos son reflejo de los parámetros abióticos, y también un determinante en la diversidad y riqueza de macroinvertebrados en la Zona Lacustre de Xochimilco. Cabe recalcar que, los factores abióticos y su estabilidad, determinan de forma importante la diversidad del bentos y particularmente la estructura de sus grupos tróficos (en la presencia o ausencia de recursos limitantes para poblaciones de colectores y similares), en especial en cuerpos de aguas dulces (Roldán-Pérez, 1992; Koperski, 2011; Bhandarkar and Paliwal, 2020), por lo que, debido a la actividad humana aledaña reportada en la zona de estudio, así como las condiciones de alimentación del agua por descargas (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006), las condiciones ambientales de la Zona Lacustre de Xochimilco se encuentran sujetas a cambios fisicoquímicos y biológicos constantemente. Es evidente, como se observa en el dendrograma de análisis clúster, que el ensamble de especies de las comunidades

en la Zona Lacustre de Xochimilco varía año con año, debido a un recambio de especies a lo largo de la zona, la cual se encuentra interconectada en su mayor parte, sólo separándose físicamente el Lago de San Gregorio Atlapulco y el conjunto de los Canales de Xochimilco. Dichas barreras físicas resultan menos significativas para especies con alta capacidad de desplazamiento en tierra, como el caso de la clase Insecta, y en particular de los Odonatos (Corbet, 1993; Catling, 2005). De igual manera, el movimiento del agua, las actividades antrópicas aledañas (Rocha-Ramírez, 2014) y las variaciones fisicoquímicas en el agua desencadenan una serie de migraciones a pequeña escala, lo que ocasiona que la composición de las especies en cada sitio cambie con el tiempo y, por lo tanto, los ensambles de la comunidad sean distintos años con año (Koperski, 2011; Merlo-Galeazzi, 2014). Así mismo, dichos cambios en el ambiente suponen una reestructuración de los gremios tróficos de cada sitio de muestreo (Paine, 1966), como se mencionó previamente, resultando así en una comunidad de macroinvertebrados en la Zona Lacustre de Xochimilco que se encuentra en constante transformación debido a una serie de interacciones biológicas, fisicoquímicas y antrópicas (Gutiérrez, 1999).

De entre las especies sensibles a los cambios fisicoquímicos de la zona de estudio, destacaron 2 odonatos: *Aeshna multicolor* y *Erpetogomphus crotalinus*. Los resultados obtenidos sugieren que la especie con mayor número de aptitudes para funcionar como bioindicador en la Zona Lacustre de Xochimilco es *A. multicolor*, debido a que presenta una amplia distribución en la zona estudiada (identificada en ambos sitios de muestreo del Lago de San Gregorio Atlapulco, y en 10 de los 13 sitios de los Canales de Xochimilco), característica deseada en un buen bioindicador (Roldán-Pérez, 1999). Los odonatos son macroinvertebrados depredadores sensibles a las variaciones ambientales, capaces de una amplia distribución gracias a que los adultos cubren grandes distancias, por lo que han sido ampliamente utilizados con propósitos de monitoreo por bioindicadores de la calidad de agua, en particular, como indicadores de la calidad del agua en relación a salinidad, pH y contaminación general (Corbet, 1993; Catling, 2005; Bhandari *et al.*, 2016; Jacob *et al.*, 2017). En el presente estudio, *A. multicolor* mostró una marcada relación con aguas con pH cercano al neutro y, con niveles bajos de dureza carbonatada y

amonio, mostrando su particular sensibilidad a la contaminación y pH. Cabe mencionar, que en estudios de bioindicación de la calidad del agua con Odonatos, se suele utilizar individuos en estado larvario y adulto por igual (Corbet, 1993; Gómez, 2008; Bhandari *et al.* 2016; Jacob *et al.* 2017), debido a la gran capacidad que tienen los Odonatos para desplazarse en sus dos principales etapas de vida (Corbet, 1993), por lo que es deseable futuros muestreos intensivo que incluyan odonatos en etapa larvaria y adulta, para un adecuado análisis de la calidad del agua. Sin embargo, no se deben descartar el resto de los macroinvertebrados bentónicos en la zona como posibles bioindicadores de parámetros particulares, puesto que el conjunto de los macroinvertebrados y grupos particulares de estos pueden indicar cambios en la salud general de los cuerpos de agua (Bonada *et al.*, 2006; Vázquez-Silva *et al.*, 2006; Arroyo y Encalada, 2009; Gil-Gómez, 2014; Castro *et al.*, 2015; Guinard *et al.*, 2013, Vázquez-Silva *et al.*, 2019).

El potencial de Hidrógeno (pH) es, por otro lado, un macroconstituyente de los cuerpos de agua que depende de las características de la cuenca, la tasa fotosintética, la oxidación de la materia orgánica y la transformación química de sustancias minerales (Roldán-Pérez, 1992; Conde y Gorga, 2016). Es así que, el pH permite detectar zonas contaminadas, así como el estado de la carga. Sus valores en cuerpos de agua naturales se encuentran entre 6 y 9 (Conde y Gorga, 2016), por lo que se observa una particular tendencia del Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco a la alcalinidad, principalmente en Ciénega Chica. Dicha tendencia a la alcalinidad puede ser ocasionada por la actividad fotosintética de algas y la respiración de organismos (Roldán-Pérez, 1992), sin embargo, debido a los relativamente bajos valores de oxígeno disuelto en el sitio, la comparativamente elevada dureza del agua y, debido a la actividad agrícola y ganadera aledaña, la condición alcalina de San Gregorio Atlapulco es producto de la descomposición de materia orgánica y la respiración de organismos acuáticos. Misma condición de materia orgánica en descomposición explica las condiciones de altos niveles de compuestos como fosfatos, nitratos y amonio (Roldán-Pérez, 1992; Camargo y Alonso, 2007).

El oxígeno disuelto presente en un cuerpo de agua continental es indicador del nivel de producción primaria y, por lo tanto, carga orgánica del sistema. Su variación en el mismo se debe a factores tanto fisicoquímicos como biológicos, entre los que se encuentra el consumo de oxígeno disuelto por la descomposición de materia orgánica (Conde y Gorga, 2016). Particularmente, en los Canales de Xochimilco se observa una alta abundancia de depredadores, altas concentraciones de nitratos, fosfatos y, en distintos sitios, bajas concentraciones de oxígeno disuelto, lo que lleva a pensar en un ambiente altamente productivo y cargado de materia orgánica (Roldán-Pérez, 1992), caso que se comparte con el Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco.

El diagnóstico obtenido por los índices bióticos de la calidad del agua resulta más severo, generalizando la contaminación moderada de la Zona Lacustre de Xochimilco, con contadas excepciones donde la contaminación del agua fue más severa, en particular en los Canales de Xochimilco. Estudios anteriores al presente han observado de forma similar un mayor deterioro en la calidad del agua de los Canales de Xochimilco en comparación con el Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco (Zambrano *et al.*, 2014; Vázquez-Silva *et al.*, 2017). Lo anterior refleja la correlación de los cambios fisicoquímicos, la calidad del agua y el comportamiento de los ensambles de macroinvertebrados en cuerpos de agua, demostrando una efectividad relativa de los bioindicadores para el estudio de la calidad del agua en La Zona Lacustre de Xochimilco (Merlo-Galeazzi, 2014; Rocha-Ramírez *et al.*, 2014; Zambrano *et al.*, 2014), en el caso particular del presente estudio, los nitratos, pH, dureza y fosfatos mostraron una mayor influencia en la variación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la zona, parámetros que presentan presión ambiental directa y fungen como recursos limitantes para la distribución de las especies acuáticas (Roldán-Pérez, 1992; Camargo y Alonso, 2007).

9 CONCLUSIÓN

La Zona Lacustre de Xochimilco forma parte emblemática y fundamental de la cultura, ecología y economía del Valle de México. En ella se llevan a cabo actividades básicas para el sustento de la Ciudad de México como la ganadería, la pesca, el turismo y la agricultura. De esta última se deriva la actividad chinampera, cuyo uso y aplicación se han visto reducida en los años presentes, parte debido al deterioro ambiental de la misma Zona Lacustre de Xochimilco. Dicho deterioro es resultado de la misma actividad antropogénica aledaña, así como la descarga de aguas residuales y la introducción de especies invasoras, que terminaron por alterar las redes tróficas y los ciclos fisicoquímicos. Es por ello que resulta indispensable el estudio y monitoreo continuo de la zona, para arrojar luz a las relaciones y cambios en el arreglo de las comunidades biológicas frente a las alteraciones ambientales. En este sentido, las técnicas de monitoreo biológico representan una herramienta confiable, accesible y económica para determinar el estado de salud de los cuerpos de agua. En particular, el uso de macroinvertebrados como bioindicadores representa una medida efectiva para este fin.

En el presente trabajo, se observó una contaminación moderada en los cuerpos de agua de la Zona Lacustre de Xochimilco en el periodo de 2017 a 2019. Sin embargo, debido a limitaciones en el muestreo, es posible el refinar la metodología que ayuden a una comprensión más precisa del comportamiento de la comunidad de macroinvertebrados frente a la contaminación, así como para la detección de bioindicadores específicos que puedan convertirse en objetos de estudio de cajón para posteriores investigaciones. Es así que la identificación de especies de odonatos con capacidad de bioindicación en la zona es relevante, debido a que permitirá el darle más atención a este grupo de macroinvertebrados en posteriores esfuerzos de monitoreo en los cuerpos de agua de Xochimilco. Así mismo, se sugiere la posibilidad de encontrar otros bioindicadores para el área de estudio, por lo que la fertilidad académica de este tema se refuerza. Por ello, es indispensable la estandarización de metodologías aplicadas para el área, determinando la extensión de los puntos de muestreo, los esfuerzos de muestreo y, la adaptación de índices de bioindicación como BWMP para el área, que permitan un confiable análisis y monitoreo de la Zona Lacustre de Xochimilco.

10 REFERENCIAS

- Álvarez, F. y R. Rangel. 2007. Estudio poblacional del acocil *Cambarellus montezumae* (Crustacea: Decápoda: Cambaridae) en Xochimilco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78 (2): 431-437.
- Aragón, J. 2014. Transparencia y colores de las aguas de la hulla blanca a las autopistas azules. *Boletín especial del Día Mundial del Agua*. 6 p.
- Aristizábal-García, H. 2016. Hemípteros acuáticos y semiacuáticos del neotrópico. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras* (31): 984 p.
- Arroyo, C. y A. Encalada. 2009. Evaluación de la calidad del agua a través de macroinvertebrados. *ACI Avances En Ciencias E Ingenierías* 1 (1): 11-16.
- Bezaury-Creel, J., F. Pineda, O. Llano-Blanco, C. Lasch-Thaler, C. Herron, D. Vásquez-Castañeda, A. Hernández-Yáñez, F. Hernández-Ruiz. 2017. Agua dulce, conservación de la biodiversidad, protección de los servicios ambientales y restauración ecológica en México. *The Nature Conservancy*. 72 p.
- Bhandarkar, S.V. and G.T. Paliwal. 2020. Short notes on types of benthic invertebrates. *Limnology*. Bhumi Publishing, India: 25-32.
- Bojórquez, C.L., y M.F. Arana. 2014. Peces de Xochimilco: su ambiente y situación actual. *Serie Académicos CBS, UAM-Xochimilco*: 13-27.
- Bojórquez, C.L. 2017. Contaminación química y biológica en la zona lacustre de Xochimilco. *Serie Académicos CBS, UAM-Xochimilco*: 51-88.
- Bonada, N., N. Prat, V.H. Resh & B. Statzner. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annu. Revista. Entomol.*, 51: 495-523.
- Brusca, R. C. & G. J. Brusca. 2003. *Invertebrates*. 2nd Ed. Oxford University Press: 3-13.
- Buendía-Flores, M., Tavera, R., & Novelo, E. 2015. Florística y ecología de diatomeas bentónicas de la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac, México. *Botanical Sciences*, 93(3): 531-558.
- Caballero, C.E. 1932. *Herpobdella ochoterenai*. nov. sp. Caballero. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México* 3: 33-39.
- Camargo, J. A. y A. Alonso. 2007. Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas* 16 (2): 98-110.
- Casás, G. y J. López. 2017. Estudio del parasitismo de una población de bagre negro, *Rhamdia quelen*, Quoy & Gaimard, 1824, (Osteichthyes, Heptapteridae), por *Argulus* sp. (Crustacea, Argulidae) en una laguna

- artificial de Ciudad de La Costa, Canelones. Tesis de Doctorado. Universidad de la República. Facultad de Veterinaria. 76p.
- Casset, M.A., F.R. Momo y A.D. Giorgi. 2001. Dinámica poblacional de dos especies de anfípodos y su relación con la vegetación acuática en un microambiente de la cuenca del río Luján (Argentina). *Ecología Austral*, 11 (2): 79-85.
- Castro, M.G., M.J. Catro, D.M.C. Monroy, C.J.A. Ocampo, C.I. Cruz y T.J.A. Ramírez. 2015. Los macro invertebrados como indicadores biológicos de la calidad del agua del río Actopan, Veracruz, México. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente* 2 (9): 12-19.
- Catling, P.M. 2005. A potential for the use of dragonfly (Odonata) diversity as a bioindicator of the efficiency of sewage lagoons. *Canadian Field-Naturalist* 119(2): 233-236.
- Cerón-Ortiz, A.N., O. Moctezuma-Resendiz, M.A. Angeles-Monroy, E. Montufar-Serrano y J.A. León-Escamilla. 2015. Efecto interactivo del alimento y la calidad de agua en el crecimiento y sobrevivencia de postlarvas de acocil de río *Cambarellus montezumae*. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86 (1): 131-142.
- Cheng, T.C. 2012. *General Parasitology*. Elsevier Science. 660 p.
- Comisión Nacional del Agua. 2019. Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua. Consultado el 07/08/2021. Disponible en: <https://files.conagua.gob.mx/transparencia/CalidaddelAgua.pdf>
- Conde, D. y J. Gorga. 2016. Cap. 6 Macroconstituyentes. En Rafael Arocena (Ed.) "Principios y Métodos de Limnología". DIRAC, Facultad de Ciencias: 73-94.
- Corbet, P.S. 1993. Are Odonata useful as bioindicators?. *Libellula* 12 (3/4): 91-102
- Coto, D. 1998. Estados inmaduros de insectos de los órdenes Coleoptera, Diptera y Lepidoptera: Manual de reconocimiento. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 153 p.
- De Pauw, N., V. Lambert, A. Van Kenhove, & A.B. De Vaate. 1994. Performance of two artificial substrate samplers for macroinvertebrates in biological monitoring of large and deep rivers and canals in Belgium and the Netherlands. *Environmental monitoring and assessment*, 30(1): 25
- De la Lanza, E.G., P.S. Hernández, y P.J. Carbajal. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación. Plaza y Valdés, México: 17-545.
- Domínguez-Granda, L., Goethals, P., & De Pauw, N. 2005. Aspectos del ambiente físico-químico del río Chaguana: un primer paso en el uso de

- los macroinvertebrados bentónicos en la evaluación de su calidad de agua. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 18(1): 127-134.
- Escobar-Briones, E. and J. Alcocer. 2002. *Caecidotea williamsi* (Crustacea: Isopoda: Asellidae), a new species from a saline crater-lake in the Eastern Mexican Plateau. *Hydrobiología* 477: 93-105.
- Escoto-Moreno, J.A., E. González-Soriano, J. Escoto-Rocha y J. Marquéz. 2014. Riqueza y distribución de la familia Aeshnidae (Odonata: Anisoptera) en el estado de Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 95: 209-217.
- Evans, A.V. 2007. Flies; Order Diptera. *Field Guide to Insects and Spiders of North America*. Sterling Publishing Co., Inc. 235p.
- Fernández, L., A. Bachmann y M. Archangelsky. 2000. Nota sobre Hydrophilidae neotropicales (Coleoptera) II: Nuevos taxiones de *Tropisternus*. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 59 (1-4): 185-197.
- Flórez-Dávila, V.R. 2021. Evaluación de la distribución potencial del género *Erythemis* (Odonata: Libellulidae) en América en relevancia de las áreas de conservación en el sostenimiento de la riqueza potencial de Colombia. Tesis de grado. Universidad el Bosque. 50p.
- Frolov, R.V. 2015. Biophysical properties of photoreceptors in *Corixa punctata* facilitate diurnal life-style. *Vision Research*, 111: 75-81.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal., 2006. El programa de manejo del área natural protegida con carácter de zona de conservación ecológica "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco". Distrito Federal: 4-9.
- Galvín, R. M. 2005. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. Master Profesional en Ingeniería y Gestión Medioambiental (Sevilla): 37.
- García-Padilla, G.M. 2014. Aspectos sobre el crecimiento y reproducción del acocil *Cambarellus (Cambarellus) montezumae* (SAUSSURE, 1857). Un análisis ecofisiológico. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de México. 199p.
- Garrison, R. 1994. A revision of the new world genus *Erpetogomphus* Hagen in Selys (Odonata: Gomphidae). *Tijdschrift voor Entomologie* 137: 174-270
- Gil-Gómez, J.A. 2014. Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del Río Garagoa. Tesis de Maestría. Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas. 84p.
- Gómez, J. 2008. Ecología de los ensamblajes de larvas de Odonatos (Insecta) y su uso potencial como indicadores de calidad ecológica en la Sierra de Coalcomán, Michoacán, México. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 306p.

- González, E.R. and L. Watling. 2002. Redescription of *Hyaella azteca* from its type locality, Vera Cruz, México (Amphipoda: Hyaellidae). *Journal of Crustacean Biology*, 22(1): 173-183.
- González-Soriano, E. y H.C.P. Barba-Medina. 2009. Libélulas. En A. Lot y Z. Cano-Santana (Eds.) *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*: 212-225
- González-Zuarth, C. A., Vallarino, A., Pérez-Jiménez, J. C., & Low-Pfeng, A. M. 2014. Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental. ECOSUR, México. 777p.
- Greenacre, M. 2008. La práctica del análisis de correspondencias: 245-253.
- Guinard, J.d.C.; T. Ríos y J.A. Bernal-Vega. 2013. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del Río Ganché, provincia de Chiriqui, Panamá. *Revista gestión y Ambiente* 16 (2): 61-70.
- Gutierrez, Y.P.J. 1999. Consecuencias de la introducción de especies. *Biología Informa*, 25: 1-6.
- Haldeman, S.S. 1841. Paludina. A monograph of the Limniades or freshwater univalve shells of North America. 2. J. Dobson, Philadelphia. 17-32, plates 6-10
- Hurtado, S., F.G. Trejo, y P.J.G. Yurrita. 2005. Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del Río San Juan, Querétaro, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 44(3): 271-286.
- Kearns, C. A. 2001. North American dipteran pollinators: assessing their value and conservation status. *Conservation Ecology* 5(1): 5.
- Krebs, C.J. 2014. *Ecological Methodology*. 3rd Ed. Addison Wesley Longman. 745 p.
- Koperski, P. 2011. Diversity of freshwater macrobenthos and its use in biological assessment: a critical review of current applications. *Environment Reviews* (19): 16-31.
- Lopretto, E.C. 2004. Capítulo 21: Brachiura. En J. Llorante Bousquets, J.J. Morrone, O. Yáñez Ordóñez e I. Vargas Fernández (Ed.), *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento Vol. IV*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 559-566.
- Lynggaard, C., A. Ocegüera-Figueroa, S. Kvist, M.T.P. Gilbert and K. Bohmann. 2021. The potential of aquatic bloodfeeding and nonbloodfeeding leeches as a tool for iDNA characterisation. *Molecular Ecology Resources* 22: 539-553.

- Mandeville, S.M. 2002. Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters: Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols. Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax. 110p.
- Margalef, R. 1951. Sobre *Gammarus* interesantes de España. P. Instituto de Biología Aplicada IX: 255-269.
- McPherson, J.E., R.J. Packauskas. 1987. Life History and Laboratory Rearing of *Nepa apiculata* (Heteroptera: Nepidae), with Descriptions of Immature Stages. *Annals of the Entomological Society of America* 80 (5): 680-685.
- Mejía, J. 2010. Estudio sobre la calidad del agua potable del cantón Gualaquiza. Tesis de maestría. Universidad de Cuenca. Centro de estudios ambientales. 98 p.
- Melo, C. 2014. Corixidae, En Sociedad Entomológica Argentina (Ed.) *Biodiversidad de Artrópodos Argentinos*: 347-356.
- Merlo-Galeazzi, A. 2014. Efectos de la heterogeneidad espacial sobre la diversidad taxonómica y funcional de los macroinvertebrados acuáticos de Xochimilco. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Autónoma de México, Ciudad de México. 66 p.
- Miller, K.B. and J. Bergsten. 2016. *Diving Beetles of the World: Systematics and Biology of the Dytiscidae*. JHU Press. 336 p.
- Montana Field Guide. 2020. Blue-eyed Darner — *Rhionaeschna multicolor*. Montana Field Guide. Montana Natural Heritage Program. Consultado el 10 de abril de 2022 de: <https://FieldGuide.mt.gov/speciesDetail.aspx?elcode=IODO14100>
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Vol. 1. España, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. 86 p.
- Morita, S.I., K.M. Bayless, D.K. Yeates, B.M. Wiegmann. 2015. Molecular phylogeny of the horse flies: a framework for renewing tabanid taxonomy. *Systematic Entomology*. 41: 56–72.
- Needham, G, J.; Needham, R, P. 1938. *A guide to the study of Fresh-Water Biology*. Ed. Holden-Day. Ed. 107. San Francisco, E.U.A. 88 p.
- Oceguera-Figueroa, A. y V. León-Règagnon. 2014. Biodiversidad de sanguijuelas (Annelida: Euhirudinea) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 95: 193-199.
- Oceguera-Figueroa, A., V. León-Règagnon and M.E. Sidall. 2005. Phylogeny and revisión of Erpobdelliformes (Annelida, Arhynchobdellida) from Mexico base don nuclear and mitochondrial gene sequences. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 76 (2): 191-198.

- Orozco, C., A. Pérez, M.N. González, F.J. Rodríguez y J.M. Alfayate. 2005. Contaminación ambiental: Una visión desde la química. Tercera edición, Thomson Editoriales Spain Paraninfo, S.A. 680 p.
- Padilla-Gil, D.N. 1994. Bioecología y sistemática de *Notonecta melaena kirkaldy* (Hemiptera, Notonectidae) en Cundinamarca – Colombia. *Agronomía colombiana* XI (1): 34-52.
- Padilla-Gil, D.N. 2002. Revisión del género *Buenoa* (Hemiptera, Notonectidae) en Colombia. *Caldasia* 24 (2): 481-491.
- Paine, R.T. 1966. Food web complexity and species diversity. *The American Naturalist* Vol. 100 (910): 65-75.
- Palma, A. P. Alejandro. 2013. Guía para la identificación de invertebrados acuáticos. 1era Edición. 122 p.
- Paulson, D. 2009. Dragonflies and Damselflies of the West. Princeton University Press: 237-307.
- Pérez, R. y M.A. Morón. 2011. Sinopsis de los Hydrophiloidea de México (Coleoptera: Hydrophilidae, Helophoridae, Epimetopidae, Georissidae e Hydrochidae), con una clave para la identificación de los géneros. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(2), 491-514.
- Philip, C.B. 1954. North American Tabanidae, VII: Descriptions of Tabanidae from Mexico (Diptera). *American Museum Novitates* 1695: 26 p.
- Pineda-López, R., R. Pérez, C. Mathuriau, J. Villalobos, R. Barba-Álvarez, T. Bernal, E. Barba-Macías y S. Salinas. 2014. Protocolo de muestreo de macroinvertebrados en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SFI-2012). Programa Nacional de Reservas de Agua. 47 p.
- Quiroz-Flores, A., M.G. Miranda-Arce y A. Lot-Helgueras. 2008. Estudio comparativo de algunas variables fisicoquímicas del agua en canales secundarios de Xochimilco con y sin *Eichornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach. *Polibotánica* 25: 127-133.
- Qvenild, T., T. Hesthagen and A. Fjellheim. 2020. The freshwater shrimp *Gammarus lacustris* (Malacostraca, Amphipoda) in lakes on the Hardangervidda mountain plateau, southern Norway: distribution and environmental requirements. *Fauna Norvegica* 40: 1-21.
- Razo-González, M., J. Márquez, G. Castaño-Meneses y R. Novelo-Gutiérrez. 2021. La complejidad biogeográfica de la Sierra de Juárez, Oaxaca, México, revelada a través del análisis de parsimonia de endemismos de especies de tricópteros (Insecta: Trichoptera). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 92: 1-21.
- Rocha-Ramírez, A. and A. Peñaloza-Daniel. 2011. *Caecidotea xochimilca* (Isopoda, Asellidae), A new species from Lake Xochimilco, Mexico, with a

- key to mexican species of the genus *Caecidotea*. *Crustaceana* 84 (1): 93-106.
- Rocha-Ramírez, A., E. Robles-Valderrama and E. Ramírez-Flores. 2014. Invasive alien species water hyacinth *Eichhornia crassipes* as abode for macroinvertebrates in hypertrophic Ramsar Site, Lake Xochimilco, México. *Journal of Environmental Biology*. 35: 1071-1080.
- Rojas, S. 2015. Identificación de un índice biótico de calidad biológica del agua (BMWP', BMWP-BOL E IBF) adaptado a las condiciones locales de cuatro ríos de la Serranía Incahuasi (Santa Cruz Ychiquiasca Bolivia). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz, Bolivia. 54 p.
- Roldán-Pérez, G. 1992. Fundamentos de limnología tropical. Medellín: Universidad de Medellín. 15: 334-348.
- Roldán-Pérez G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col. Medellín: Universidad de Antioquia. 170 p.
- 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.
- Samboni-Ruíz, N. E., Y. Carvajal Escobar, y J.C. Escobar. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación* 27 (3): 172-181.
- Sardiñas Peña, O., & Pérez Cabrera, A. 2004. Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 42(2). Consultado el 05/11/2020 Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032004000200002&lng=es.
- Schotte, M., B.F. Kensley and S. Shilling. 1995. World list of Marine, Freshwater and Terrestrial Crustacea Isopoda. National Museum of Natural History Smithsonian Institution.
- Semarnat. 1997. Norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (NOM-001). Consultado el 07/20/2021. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>

- Secretaría de Protección Civil. 2014. Atlas de Peligros y Riesgos de la Ciudad de México. Actualización de los Mapas de Riesgo: Xochimilco. Ciudad de México. 162 p.
- Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA). 2012. Xochimilco (2ª ed.). Ciudad de México, México: Gobierno del Distrito Federal.
- Smith, R.L. 1997. Evolution of paternal care in the giant water bugs (Hemiptera: Belostomatidae). En J.C. Choe y B.J. Crespi (Eds.) *The Evolution of Social behavior in Insects and Arachnids Sociality*. Cambridge University Press_ 116-149.
- Springer, M. 2010. Biomonitoring acuático. *Revista de Biología Tropical*, 58: 53-59.
- Springer, M. 2010. Capítulo 7: Trichoptera. *Revista de Biología Tropical*, 58: 158-191.
- Strong, D.R. 1972. Life History Variation Among Populations of an Amphipod (*Hyalella Azteca*). *Ecology* 53(6): 1103-1111.
- Ter Braak, C.J.F. 1986. Canonical Correspondence Analysis: A New Eigenvector Technique for Multivariate Direct Gradient Analysis. *Ecology* 67 (5): 1167-1179.
- Ter Braak, C.J.F. and Verdonschot P.F.M. 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences* 57 (3): 256-289.
- Thorp, J.H., D.C. Rogers, eds. 2015. Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates: Ecology and General Biology. Vol. 1 (4º Ed). Elsevier: 954-955.
- VanDyk, J. 2018. Archilestes grandis - Great Spreadwing. BugGuide.net. Consultado el 18/04/2022. Disponible en: <https://bugguide.net/node/view/3767>
- Vázquez-Silva, G., G. Castro-Mejía, I. González-Mora, R. Pérez-Rodríguez y T. Castro-Barrera. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *ContactoS* 60: 41-48.
- Vázquez-Silva, G., F.C. Arana-Magallón, L.G. Núñez-García, A. Martínez Santiago y J.R. Cruz-Aviña. 2017. Contribución al estudio de la ictiofauna del Lago de San Gregorio Atlapulco y canales de Xochimilco. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* 8(19): 33-46.
- Vázquez-Silva, G., F.C. Arana-Magallón, K. López de la Rosa, G. Castro-Mejía. 2019. Diagnóstico con base en bioindicadores. *H2O Gestión del Agua* 21: 30-35.
- Violante-Huerta, M. 2020. First record of the freshwater amphipod *Hyalella azteca* (Amphipoda: Senticaudata) in Cuautla, Morelos, México. *Hidrobiológica*, 30(2): 177-179.

- Xerces Society. 2019. Field Identification Guide: Zigzag Darner (*Aeshna sitchensis*) & Subartic Darner (*Aeshna subartica*). USFS/BLM Interagency Special Status Sensitive Species Program. 12 p.
- Zambrano, L, Tovar, A, Sumano, C, y Ayala C. 2014. Rehabilitación de la red chinampera y del hábitat de especies nativas de Xochimilco. Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. 135 p.