



**Diotima, Revista Científica de Estudios Transdisciplinaria**  
**ISSN: 2448- 549. Vol. 8 Núm. 23 mayo-agosto 2023**

**LA INFLUENCIA DE LAS INTERACCIONES BIOLÓGICAS CON LA  
CONTAMINACIÓN DE LOS SISTEMAS ACUÁTICOS**

**THE INFLUENCE OF BIOLOGICAL INTERACTIONS WITH THE  
CONTAMINATION OF AQUATIC SYSTEMS**

**María Fernanda Montoya Gómez**

Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma del Estado de México.  
Toluca, Edo. de México  
ORCID: 0000-0001-6889-2445

**Ana Elisa Alcántara Valladolid**

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua  
(IITCA). Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca,  
Edo, de México.

aealcantarav@uaemex.mx

ORCID: 0000-0002-5677-0739

**Moisés Tejocote Pérez**

Centro de Investigación en Ciencias Biológicas aplicada. Universidad Autónoma  
del Estado de México. Toluca, Edo, de México  
ORCID: 0000-0002-1149-0637

**RESUMEN**

En el presente artículo, se explica la importancia que guardan las interacciones biológicas dentro de los sistemas acuáticos contaminados, utilizando como objeto de estudio de las familias de hongos y bacterias presentes en la Ciénega de Chimaliapan, Estado de México. El objetivo es dar a conocer al público en general y a los profesionistas relacionados con el tema que, para tomar decisiones o propuestas sobre

el tratamiento de agua de los cuerpos de agua contaminados, es necesario considerar la correlación de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua con las interacciones microbianas. Se da a conocer el primer estudio, para la Ciénega de Chimaliapan, que muestra la existencia de una temporalidad y distribución microbiana conforme a la calidad del agua. De 12 familias bacterianas determinadas, existe una correlación positiva entre la familia



Enterobacteracea y el nitrógeno total y negativa entre las familias Chromatiaceae y Xatomonadiaceae con los nitratos.

**Palabras clave:** Sistemas acuáticos, bioindicadores, microorganismos.

### **ABSTRACT**

This article, explains the importance of biological interactions within contaminated aquatic systems an object of study of the families of fungi and bacter present of the cienega de Chimaliapan, State of Mexico. The purpose is to make known to the general public and to professionals related to the subject that, in order to make decisions of proposals on the treatment of water from contaminated water bodies, it is necessary to consider the correlation of the physicochemical parameters of water quality with microbial interactions. We announce that, for the cienega de Chimaliapan there is a temporality and microbial distribution according to the quality of the water, there are 12 bacterial families with correlation,

being positive with the Enterobacteracea family and negative among between the Chromatiaceae and Xatomonadiaceae families with total nitrogen, and nitrates (respectively).

**Keywords:** *interaction, water, pollution*

Fecha de envío: 08 de agosto de 2022

Fecha de aceptación:30 de septiembre de 2022

### **INTRODUCCIÓN**

Los cuerpos de agua y sistemas acuáticos han registrado perturbaciones y contaminación que alteran su estructura a nivel de comunidades y poblaciones, provocando cambios en los componentes bióticos y abióticos (Aburto *et.al*, 2015; Aguilera *et.al*,2010), la disponibilidad de nutrientes interacciones biológicas y flujo de energía, así como su papel dentro de los ciclos biogeoquímicos en procesos de degradación o descomposición en suelo, agua y



sedimento, recirculando al carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y oxígeno (O<sub>2</sub>), entre otros (Arias *et.al*,2021). Muchas de estas alteraciones son derivadas de actividades humanas como descargas de aguas residuales industriales municipales, domésticas y agrícolas, que provocan la contaminación de los cuerpos de agua receptores y disminuye la calidad de las aguas superficiales y subterráneas (Arroyo y Vázquez, 2018).

Una interacción biológica, es la relación entre los organismos y las condiciones ambientales de su hábitat dentro del espacio donde llevan a cabo sus actividades, sobrevivencia y reproducción (Arias *et.al*,2021; Arroyo y Vázquez,2018).

Existen cuerpos de agua que pueden ser utilizados como modelos naturales de interacción biológica entre las poblaciones de microorganismos y los parámetros fisicoquímicos de contaminación del agua (Castillo, 2017; CONANP, 2017), tal es el caso de la Ciénega de Chimaliapan, Estado

de México. En los cuerpos de agua, se observa un comportamiento negativo y positivo de tolerancia entre las correlaciones de los componentes bióticos y abióticos (Arias *et.al*, 2021;Castillo, 2017). Actualmente, conocer este tipo de relaciones e interacciones, ayudan a comprender la base del conocimiento para diseñar y aplicar nuevas estrategias de tratamiento y biorremediación de cuerpos de agua naturales (CONANP, 2017).

### **METODOLOGÍA**

En esta investigación se evaluaron correlaciones entre parámetros fisicoquímicos: fósforo total (P<sub>TOT</sub>), Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), Cloro libre (Cl<sup>-</sup>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), Nitrógeno total (N<sub>TOT</sub>), Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y Dureza total (D<sub>TOT</sub>) y basados en el procedimiento de las normas mexicanas y en los límites máximos permisibles (LMP) de la CE-CCA-01/89 y grupos taxonómicos microbianos, identificados a nivel de familia aplicando métodos de aislamiento a



microescala con medios de cultivo líquidos conocidos como caldo lactosado y caldo billis verde brillante al 2%. Se realizaron varios muestreos en la Ciénega de Chimaliapan a lo largo de 1 ciclo anual durante 3 temporadas (abril, junio y agosto en 2021). Las correlaciones se obtuvieron mediante estadística inferencial con la finalidad de obtener el nivel de interacción biológica más representativa del sistema acuático.

### **DESARROLLO**

Por más de una década, se ha evaluado el efecto nocivo de los contaminantes sobre la fisiología de los organismos tanto de animales superiores como de microorganismos (De la Cruz *et.al*,2014; De Vos.*et.al*, 2009), sin embargo no se ha integrado el nivel de afectación dentro de un nivel ecosistémico (De la Cruz *et.al* 2014; De Vos *.et.al*, 2009; Fernández, 2011). Para ello, existen los bioindicadores de origen vegetal y bacteriano que han apoyado con el

conocimiento de las consecuencias como malformaciones, enfermedades e intoxicaciones (Fuentes, 2019), pero no han cubierto la dinámica positiva o negativa dentro de los ecosistemas y comunidades (Arroyo y Vázquez, 2018; CONANP, 2017; Fernández, 2011). Los microorganismos son modelos e indicadores de toxicidad a nivel de interacciones biológicas (García, 2010; García ,2009; Guzmán, 2017). Algunos ejemplos de toxicidad o afectación de los contaminantes del agua sobre algunas especies de bacterias y hongos se han observado entre individuos del género *Bacillus* (Huerta, 2020), mientras que el pH, temperatura y el nitrito de sodio en *Listeria* y *Nitrobacter* (Izucar y Sáenz, 2019; Justiz, *et.al*;2014), los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) sobre coliformes totales y no fecales, en agua superficial, agua subterránea y agua de pozo (Moreno *et.al*, 2010; Norma mexicana; 2001). Por otro lado, la presencia de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ) con efecto positivo en la actividad y producción de enzimas proteolíticas en las especies como



*Bacillus circulans* y *Bacillus licheniformis* (Norma Mexicana, 2013; Norma Mexicana, 2016), la mineralización, descomposición del nitrógeno, biolixiviados de sulfuros y de cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), sobre el crecimiento y adaptación de *Acidithiobacillus ferrooxidans* (Izucar y Sáenz, 2019; Norma Mexicana; 2013; Norma Mexicana, 2016; Ríos *et.al*, 2017; Rivera, 2017).

### **INTERACCIONES BIOLÓGICAS**

Las interacciones biológicas conocidas y definidas como parasitismo, depredación, competencia y simbiosis, han sido muy estudiadas en sistemas terrestres, sin embargo, en sistemas acuáticos han sido poco (Rodríguez. *et. al*, 2012) estudiadas. En los sistemas naturales como lagos, lagunas, ciénegas, ríos, arroyos, bordos y humedales, las interacciones biológicas pueden beneficiar los procesos naturales de recirculación de componentes químicos (Salazar, 2022), así como moléculas

provenientes de contaminantes, tales como: desechos orgánicos derivados del nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), fósforo (P), azufre (S) y minerales (Justiz, *et.al*, 2014; Moreno. *et.al*, 2016; Rivera, 2017). Cuando esta interacción afecta a un grupo de organismos dentro de un sistema acuático, se ha dicho que la contaminación es nociva, pero cuando está interacción es benéfica, se convierten en sistemas amigables con el ambiente (Ríos *et.al*, 2017; Rivera, 2017) que actualmente, son la base de investigaciones y aplicación de nuevas tecnologías en tratamiento de agua, como la biorremediación, fitorremediación, biosorción, bioadsorción, consorcios microbianos y oxidación biológica avanzada (Izucar y Sáenz, 2019; Rivera, 2017; Ríos *et.al*, 2017).

Recientemente se ha observado un comportamiento de este tipo de interacción positiva entre algunos parámetros de calidad del agua con la diversidad microbiana en zonas de la Ciénega del Lerma, particularmente con grupos taxonómicos bacterianos que componen la estructura de las



comunidades de organismos de la Laguna de Chimaliapan.

### **CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

Es un proceso definido como la alteración de las condiciones del agua, proveniente de un agente, forma o sustancia extraña con potencial para realizar:

- a). Incorporar y cambiar las propiedades fisicoquímicas del agua,
- b). Modificar los procesos y producir un daño en los componentes.
- c) Hacer que ese daño sea irreparable.

De manera general y tradicional el concepto de contaminación refiere al daño del sistema acuático, sin embargo, dentro de un componente biológico, los organismos tienen la capacidad de responder y tolerar una parte del efecto contaminante, convirtiéndose en bioindicadores de tolerancia que responden hasta en un 30% de sobrevivencia en su medio (Fuentes, 2022; García, 2010), esta es la base que actualmente se investiga

y aplica en los sistemas de biorremediación.

### **CONTAMINACIÓN EN SISTEMAS ACUÁTICOS**

Por mucho tiempo se ha sabido que existen cuerpos de agua con alto nivel de contaminación proveniente de: descargas industriales, alimentarias, agrícolas, farmacéuticas, municipales, etc., que han dañado su funcionamiento y se han convertido en ecosistemas irreparables trayendo consigo daño ambiental a la salud de la población, ejemplo, la cuenca alta del río Lerma, río Santiago y río Grijalva (Fuentes, 2022; Huerta, 2022), considerándolos como ambientes complejos que requieren de estrategias de tratamiento muy avanzadas y costosas, sin embargo, existen cuerpos de agua que por su tipo de interacciones biológicas, propiedades fisicoquímicas, ubicación, estacionalidad, fisiografía y tipos de descargas, cuentan con alternativas viables y menos dañinas que permiten considerarlos como ambientes semicontaminados y con alto potencial



de remediación o mitigación del impacto, haciendo uso de nuevas tecnologías de tratamiento como la biorremediación y sobre todo la colaboración de la sociedad para apoyar con el inicio y seguimiento de los procesos de evaluación, monitoreo y aplicación de sistemas biológicos de tratamiento (Izucar, 2019; Norma Mexicana, 2001; Norma Mexicana, 2016; Rodríguez *et.al*, 2012). Actualmente, se requiere de un trabajo integrativo con la sociedad.

### **INFLUENCIA BIOLÓGICA**

Cuando un organismo consume energía dentro de su hábitat en forma de alimento o recursos, produce desechos que son reincorporados al ambiente en forma de residuos que se almacenan en el suelo, sedimento, agua, aire y en su anatomía en forma de heces fecales, materia orgánica, ácidos húmicos, orina, ácido úrico ( $C_5H_4N_4O_3$ ), fósforo (P), fosfatos ( $PO_4^{3-}$ ), nitrógeno ( $N_2$ ), nitratos ( $NO_3^-$ ), proteínas, carbohidratos, lípidos, enzimas, células, esporas, entre otras (García, 2010; Izucar, 2019; Ríos *et.al*,

2017). Por dinámica natural, estos residuos se transforman nuevamente en fuente de energía y alimento para los organismos, iniciando una reincorporación de componentes dentro del ecosistema, compartiendo esta energía con más espacios y sistemas, formando lo que se conoce como redes tróficas, flujo de energía o ciclos biogeoquímicos que dan estabilidad y equilibrio al planeta (De Vos. *et.al*, 2009; García, 2009; Norma Mexicana, 2001).

Dentro de la reincorporación de los componentes en los ecosistemas, los organismos llegan a crear estrategias ecológicas para hacer uso y transformación de dichos elementos, existiendo de esta manera la competencia, depredación, parasitismo y mutualismo. Las interacciones de este tipo benefician al ecosistema debido a que producen elementos que se convierten en nutrientes, fertilizantes y biocontroles de importancia humana que se aplican en la industria agropecuaria y producción de alimentos, tal es el caso de la degradación de materia orgánica



en cuerpos de agua mediante consorcios de microorganismos que generan biofertilizantes a partir de fuentes de contaminantes orgánicos disueltos en el agua y que actualmente se aplican en sistemas de riego (SEMARNAT,2012; Vásquez, *et.al*, 2018).

Por lo tanto, es importante conocer la composición y estructura de las comunidades y organismos de los sistemas acuáticos para poder evaluar las condiciones de afectación e impacto que tienen para proponer estrategias de manejo y aprovechamiento como recursos naturales disponibles. Los organismos pioneros que establecen las bases de las interacciones estructurales en la comunidad, son los microorganismos, principalmente hongos, bacterias, protozoarios, microalgas, virus, invertebrados, fitoplancton y zooplancton, en forma de consorcios (Zepeda, *et.al*, 2012).

En la ciénega de Chimaliapan, Lerma, Estado de México, de 2020 a 2021, se realizó esta investigación en 5 sitios de

muestreo, para un total de 180 aislamientos microbiológicos a microescala y 30 muestras de agua para la determinación de parámetros fisicoquímicos con la finalidad de conocer las interacciones previamente descritas.

Los resultados demuestran un comportamiento particular de este tipo con 12 grupos taxonómicos de bacterias, en frecuencia poblacional, temporalidad, correlación con nitrógeno total ( $N_{tot}$ ), nitratos ( $NO_3^-$ ) y dureza total ( $D_{tot}$ ), con la cual se demuestra una tendencia a la tolerancia del nivel de contaminación que tiene el cuerpo de agua, notando el seguimiento de un aprovechamiento de la materia orgánica, nitrógeno ( $N_2$ ), fósforo (P) y minerales provenientes de fuentes de contaminación, que a pesar del tiempo transcurrido en este cuerpo de agua, su dinámica microbiana no se ha visto afectada ni comprometida en su totalidad, por lo tanto, existe la posibilidad que a largo plazo, sea posible remediar los daños vigentes en el sistema con ayuda de las interacciones biológicas y



dinámica microbiana del sitio (Huerta, 2020; Izucar y Sáenz, 2019; Rodríguez, *et.al*, 2012; SEMARNAT, 2012).

En la figura 1, se observa que, de abril a agosto 2020, la familia Veillonellaceae, Bacillaceae, Chromatiaceae y Enterobacteriaceae, presentan la mayor frecuencia poblacional dentro de la Ciénega de Chimaliapan, mientras que la familia Chitromiceteaceae, Streptococcaceae muestran la menor frecuencia poblacional durante la misma temporada. Esto significa que la distribución, abundancia y frecuencia de las poblaciones de especies, familias identificadas en la ciénega, es diferente a lo largo de las estaciones del año (Arias *,et.al*, 2021; Arroyo y Vázquez, 2018; Fernández *,2011*; Vázquez *et.al*, 2018).

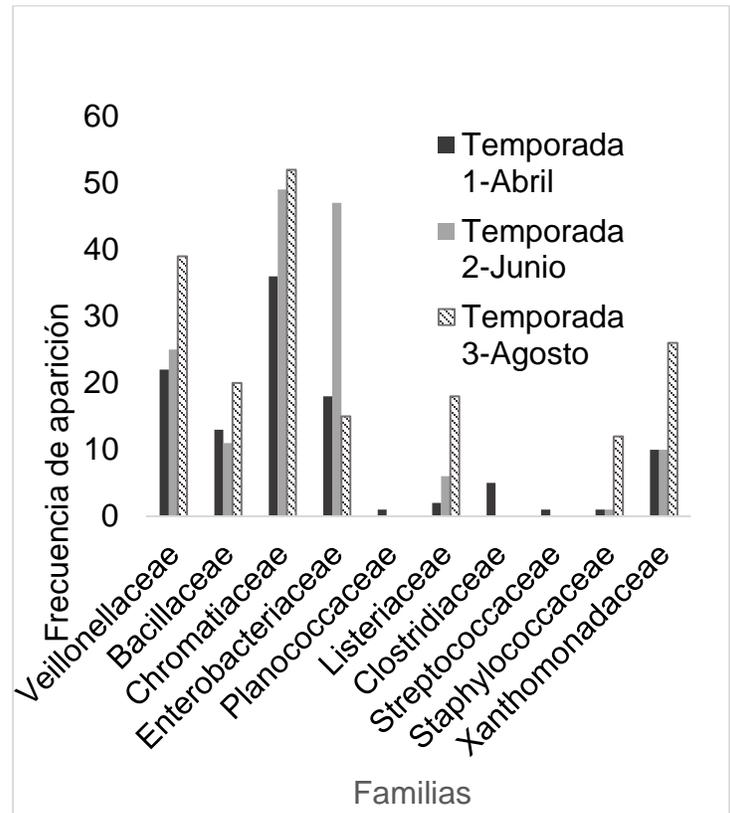


Figura 1. Distribución temporal de familias de bacterias y hongos dentro de la Ciénega de Chimaliapan.

En la figura 2, se observa una relación positiva ( $r^2= 0.98$ ;  $p<0.05$ ), entre la dureza total ( $D_{tot}$ ) del agua de la ciénega, con la presencia poblacional de la familia Enterobacteriaceae (CONANP, 2017; De la Cruz *et.al*, 2014; De Vos *et.al*; 2009; Justiz *et.al*,2014;Norma Mexicana, 2001). Esta tendencia significa que, conforme incrementan los valores de bicarbonatos ( $H_2CO_3$ ) en el agua,



provenientes de descargas que contengan altos niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y sales carbonatadas ( $\text{HCO}_3^-$ ), las enterobacterias serán beneficiadas en sus procesos celulares de oxidación enzimática, incrementando con ello su tamaño poblacional y frecuencia (Norma Mexicana, 2013; Rodríguez, *et.al*, 2012).

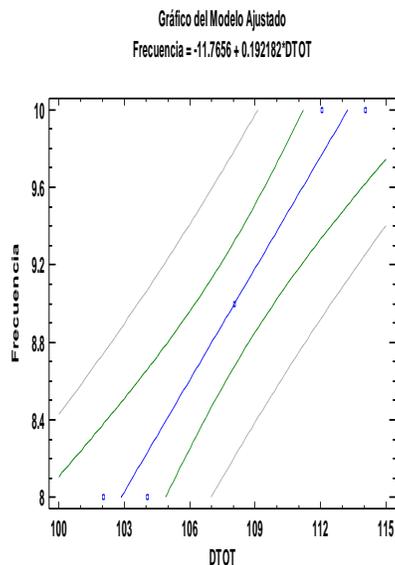


Figura 2. Correlación positiva entre la  $D_{\text{tot}}$  del agua de la ciénega Chimaliapan y la frecuencia de Enterobacterias.

En la figura 3, se observa un comportamiento contrario con tendencia negativa, es decir conforme aumentan los  $\text{NO}_3^-$  en el agua, disminuyen los tamaños poblacionales de la familia Chromatiaceae ( $r^2=0.96$ ,  $p<0.05$ ), esto significa que los  $\text{NO}_3^-$  tienen un efecto tóxico en dichas bacterias, ya que no son nitrificantes y al interactuar con un medio alto en concentración de  $\text{NO}_3^-$ , se retarda la síntesis de proteínas, por lo cual, las células no contienen aminoácidos necesarios para la división celular (Justiz, *et.al* (2014; Norma Mexicana, 2013; Vásquez V., *et.al* (2018). En otros sistemas acuáticos, un alto contenido en  $\text{NO}_3^-$ , representa un medio con nutrientes viables, incluso como fertilizantes para la vegetación acuática pero la dinámica de dichos nutrientes la coordinaría un consorcio de bacterias distintas a las Chromatiaceae (Aguilera, *et.al*, 2010; Norma Mexicana 2001; Salazar 2022).

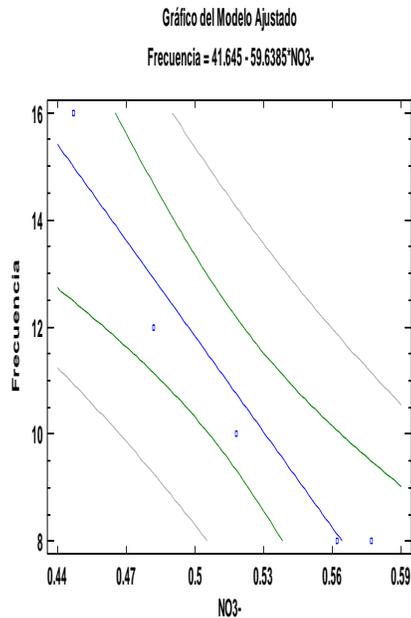


Figura 3. Correlación negativa entre los NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y la frecuencia de bacterias Cromatiaceales del agua de la Ciénega de Chimaliapan

En la figura 4, se muestra una tendencia semejante a la figura 2, sin embargo, es más representativa que la anterior, debido a que no muestra algunas fases del ciclo del nitrógeno en el medio, así como bacterias nitrificantes. De igual forma, no representa los procesos de

nitrificación para otras especies químicamente biotransformadas por Xantomonadales ( $r^2=0.93$ ,  $p<0.05$ ), con esto, se demuestra que el nitrógeno puede ser benéfico o dañino cuando no existen microorganismos que lo metabolicen y afectando por consiguiente al resto de las poblaciones bacterianas, tal es el caso de las 2 familias sensibles (Chromatiaceae y Xantomonadiaceae).

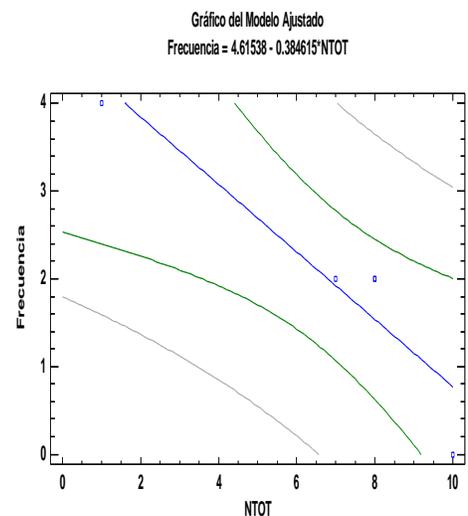


Figura 4. Correlación negativa entre el N<sub>tot</sub> y la frecuencia de bacterias Xantomonadales del agua de la



Ciénega de Chimaliapan

2012).

Con base a lo anterior, existen pocas investigaciones que demuestran el comportamiento similar a nivel de grupos taxonómicos, solo son evaluaciones individuales, entre una sola especie de microorganismo y un solo parámetro fisicoquímico, por tal motivo esta investigación demuestra la importancia de todo un grupo de especies (familias), vinculadas y correlacionadas con varios parámetros fisicoquímicos, dando como resultado el conocimiento del efecto sobre un nivel de organización biológica más alto donde existe mayor adaptación, evolución y variabilidad genética, que mitiga el efecto negativo de la contaminación. Por consiguiente, la propuesta de tratamiento para sistemas acuáticos de este tipo es: la biorremediación asistida por consorcios microbianos aerobios de oxidación recircular, provenientes de ambientes naturales como la Ciénega de Chimaliapan (Aguilera, *et.al*, 2010; Rodríguez, *et.al*, 2012; Zepeda, *et.al*

## **CONCLUSIONES**

1. Las interacciones biológicas microbianas de los cuerpos de agua determinan su temporalidad y distribución conforme a la calidad del agua presente a lo largo de un ciclo anual.
2. En la ciénega de Chimaliapan existe evidencia de la interacción biológica microbiana entre la presencia de 12 familias bacterianas y su correlación positiva y negativa con los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua.
3. La dureza total del agua favorece la frecuencia de la familia Enterobacteraceae, mientras que el nitrógeno total, y nitratos perjudican e inhiben la frecuencia de las familias Chromatiaceae y Xatomonadiaceae.
4. Existe una interacción biológica de competencia entre las



bacterias y hongos con los parámetros de calidad del agua de la ciénega de Chimaliapan, esto significa que es necesario integrar el conocimiento de la dinámica de interacciones biológicas en los cuerpos de agua contaminados para proponer estrategias de tratamiento o biorremediación.

### **REFERENCIAS**

- Aburto M. *et.al.* (2015). Evaluación de contaminantes y de la comunidad microbiana en sedimentos de importancia biológica de los humedales de Lerma, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* Vol. 31. No. pp. 7-22.
- Aguilera I. *et.al.* (2010). Determinación de sulfato por el método turbimétrico en aguas y aguas residuales. Validación del método. *Revista cubana de química.* Vol. 12. No. 3. pp. 39.
- Arias V.,*et.al* (2021). Correlación del potencial óxido reducción y la población bacteriana durante el estudio de biolixiviación de sulfuros de cobre. *Rec. Inst. Investing.Fac. Minas metal.Cienc.Geogr.* Vol. 24. No. 47. pp. 19-28.
- Arroyo O. y Vázquez D. (2018). Efecto de Nitrato/Nitrito sobre la supervivencia de la flora microbiana en leche cruda. Tesis. Universidad Autónoma del Estado de México. pp. 41
- Castillo L. (2017). Evaluación de la bioacumulación de metales pesado en la vegetación acuática flotante de la Laguna de Chimaliapan, Estado de México. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Toluca. México.
- CONANP. (2017).*Descripción de la Problemática del APFF Ciénegas del Lerma.* En línea: <https://www.gob.mx/conanp/es/articulos/cienegas-del-lerma-refugio-de-aves-migratorias?idiom=es>
- De la Cruz M.*et.al.* (2014). Importancia y estudio de las comunidades microbianas en los recursos y productos pesqueros. *Ecosistemas y Recursos agropecuarios.* Vol. 2 No. 4. pp. 100-102.



De Vos P.*et.al* (2009). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Springer, Vol. 3. pp.

Fernández M. (2011). Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas. López E. y Sainz J. (Eds.), Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola. (pp. 25-31).

Fuentes J., (2019). "Río Grijalva, el más contaminado de México", *Consejo Consultivo del Agua. A:C. No. 1*, pp. 1-2. 26-02-2019. México. [En línea]. Disponible en: <http://aguas.org.mx/sitio/blog/noticias/item/1633-rio-grijalva-el-mas-contaminado-de-mexico.html>.

[Consultado: 07-jul-2022].

García J. (2010). *Efecto del uso de plantas y configuración de los sistemas en la remoción de organismos patógenos mediante el uso de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en condiciones tropicales*. Tesis de Maestría en Ecotecnología. pp. 25-30.

García M. (2009). La hidrosfera. El ciclo del agua. La contaminación del

agua. Métodos de análisis y depuración. El problema de la escasez del agua. *ResearchGate*. pp. 11-14.

Guzmán E. (2017). Evaluación de la contaminación del agua en las descargas de la laguna de Chimaliapan, Lerma, Estado de México. Tesis en Maestría en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Toluca.

Huerta J.C.,(2020). "Río Santiago, "El más contaminado de México pone en riesgo salud de 24 mil niños". *El financiero. Nacional*, No. 16, pp. 2-3. 06-02-2020. México. [En línea]. Disponible en:

<https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/rio-santiago-el-mas-contaminado-de-mexico-pone-en-riesgo-salud-de-24-mil-ninos/>.

[Consultado: 02-jul-2022].

Izucar F.y Sáenz V. (2019). Estudio de la Percepción Ambiental en la Ciénega de Chignahuapan, Lerma Estado de México. Tesis Profesional de Licenciatura en Ciencias Ambientales. pp. 4-5.

Justiz I., *et.al* (2014). Validación a microescala del método de ensayo 4-



aminoantipirina para cuantificar compuestos fenólicos en cultivos microbianos. *Revista Cubana de Química*. Vol. 26. No. 2. Pp.104-113.

Moreno D. *et.al* (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS* 78. pp. 25-33.

<C:/cs/n78ne/eutrofia/eutrofia2.dvi>

[uam.mx](http://uam.mx)

Norma Mexicana. (2001). *Análisis de agua – Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba – (cancela a la NMX—AA-072-SCFI-1981)*. NMX-AA-008-SCFI-2001.

Norma Mexicana. (2013). *Análisis de agua. Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba – (cancela a la NMX—AA-008-SCFI-2011)*. NMX-AA-007-SCFI-2013.

Norma Mexicana. (2016). *Análisis de agua.- Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba –*

*(cancela a la NMX—AA-008-SCFI-2011)*. NMX-AA-008-SCFI-2016.

Norma Mexicana. (2001). *Análisis de agua - Guía de solicitud para la presentación de métodos alternos*. NMX-AA-116-SCFI-2001. [Microsoft Word - NMX-AA-116-SCFI-2001.doc](#) ([www.gob.mx](http://www.gob.mx))

Ríos S., *et.al*. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública*. Vol. 35. No. 2. pp. 237-238.

Rivera Y. (2017). Evaluación del impacto de vertimiento de aguas residuales de una industria papelera a un tramo del río Rimac. Tesis Profesional de Ingeniería Ambiental. pp. 19-20.

Rodríguez S., *et.al* (2012). Nitrate and bacterial contamination in water. *Scielo*. Vol. 30. No. 2.

Salazar K., (2022). Especies de la familia Bacillaceae productoras de proteasas aisladas de aguas termominerales del complejo turístico baños del Inca, Cajamarca, Perú.



Tesis. Universidad Nacional de Cajamarca. pp. 33-36.

SEMARNAT. (2012). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental. Capítulo 6. pp. 258-316.

Vásquez V., *et.al* (2018). Evaluación de la calidad bacteriológica de quesos frescos en Cajamarca. *Ecología Aplicada*. Vol. 17. No. 1. pp. 46.

Zepeda C., *et.al*. (2012). Florística y diversidad de las ciénegas del río Lerma Estado de México, México. *Acta Botánica Mexicana*. No. 98. pp. 23-27

*Bhatt P., Bhandari G., Bhatt K. y Simsek H. (2022)*. Microalgae-based removal of pollutants from wastewaters: Occurrence, toxicity and circular economy. *Chemosphere*. No. 306. pp. 1-20.