



“Exploración y determinación del papel de las algas como bioindicador para evaluar la Salud Ambiental de la Presa La Purísima”

PRESENTA

CARLA GEORGINA ARROYO ALBA

PARA OBTENCIÓN DEL GRADO DE INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR: DRA. ALMA HORTENSIA SERAFÍN MUÑOZ

CO-DIRECTORA: DRA. BERENICE NORIEGA LUNA

Diciembre 2021

ÍNDICE

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

1.1.1 Línea del tiempo del uso de bioindicadores y biomonitoreo

1.1.2 Clasificación de bioindicadores

1.1.3 Metodologías utilizadas para el análisis con bioindicadores.

1.2 Caso de estudio: Algas

1.2.1. Ejemplos de uso

1.3. Antecedentes

1.3.1. Sitio de estudio: Caso Presa la Purísima

1.3.1 Estudios realizados en el sitio

CAPÍTULO 2

2.1 Hipótesis

2.2 Justificación

2.3 Objetivos

CAPÍTULO 3

3.1 Metodología

3.1.1 Etapa 1: Toma de muestras de agua y algas

3.1. 2 Etapa 2: Análisis fisicoquímicos de muestras

3.1.3 Etapa 3: Análisis biológico

CAPÍTULO 4

4.1 Resultados

4.1.1 Análisis fisicoquímico de muestras de agua

4.1.2 Análisis biológico (microscopía)

4.2 Discusión

CAPÍTULO 5

5.1 Conclusiones

Resumen

Las algas son un grupo diverso y amplio de organismos simples, fotosintéticos organismos unicelulares y multicelulares. Tienen un cuerpo muy simple llamado talo que no se puede diferenciar en verdaderas raíces tallos y hojas y carecen de tejidos vasculares. Son organismos muy diversos en cuanto a tamaño, forma, estructura, color, hábito y hábitat. Las algas ocupan diversos ecosistemas debido a su gran amplitud ecológica y se distribuyen por los océanos, ríos, lagos, estanques y arroyos. Están presentes en los cuerpos de agua, desde pequeños lagos hasta en la profundidad del océano e inclusive en las cumbres más altas del mundo. Las algas participan en la depuración del agua de los nutrientes y están consideradas como muy buen bioindicador de la calidad de la misma debido a su rápida respuesta a los contaminantes. Las algas son un organismo biológico importante para la depuración de las aguas porque absorben los contaminantes orgánicos e inorgánicos contaminantes, metales pesados y sustancias radiactivas. Las microalgas son bioindicadores de la eutrofización y se utilizan eficazmente para evaluar la calidad del agua. El predominio de algas verdes y diatomeas indica las condiciones oligotróficas mientras que la abundancia de algas verdes azules indica las condiciones eutróficas de las masas de agua.

En México existen varios lagos, ríos, pozos y presas contaminados por metales y metaloides causado por las actividades androgénicas. En el Estado de Guanajuato, existen varias regiones altamente contaminadas. La Presa de la Purísima del Estado de Guanajuato, México, suministra de agua a los pobladores de varias comunidades cercanas alrededor, así como la ciudad de Silao e Irapuato, Gto. En este Presa desembocan el río Guanajuato y por el relieve inciden también los lixiviados del sitio de disposición final de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Guanajuato capital. Por lo que, la Presa presenta alto grado de contaminación.

El objetivo de este trabajo fue explorar la diversidad floral de las algas y su papel para determinar la salud ambiental de la Presa la Purísima, como cuerpo de

agua, en correlación con la contaminación causada con metales y metaloides. Durante el 2021 se llevó a cabo el trabajo de muestreo de algas y agua. Es de mencionarse que hubo campañas previas de muestreo para agua en 2019 y 2020.

Se llevo a cabo el análisis fisicoquímico de las muestras de agua y algas. Las algas unicelulares fueron analizadas por todos los niveles microscópicos, estereoscopía, óptica y microscopía electrónica de barrido.

Dentro los resultados se encontraron altos niveles de mercurio, arsénico y cadmio, principalmente. Las especies mayoritarias presentes de algas fueron principalmente diatomeas y cianobacterias, lo que indica que son las especies resistentes a medios altamente contaminados sobre todo con mercurio. Por otro lado, se reveló que la Presa de la Purísima tiene una probable contaminación orgánica. Como conclusión, las algas como bioindicadores dan una alta perspectiva potencial para el diagnóstico de la salud ambiental de los cuerpos de agua, pero a la vez su potencial uso como posibles agentes de biorremediación en la calidad de aguas naturales, así como la posible gestión de las especies de algas para la obtención sostenible de productos derivados de ellas.

Palabras clave: mercurio, arsénico, diatomeas, cianobacterias, biomonitoreo.

Capítulo 1

1.1 Introducción

Los organismos que habitan un ecosistema son vistos como sensores fundamentales que responden a cualquier situación de estrés (ya sea físico, químico o biológico) que afecte el sistema en el que viven, ya que este manifiesta su impacto en la salud de los organismos. La salud de un ecosistema acuático es afectada cuando su capacidad para absorber estrés es excedida. Este concepto propone que la salud ambiental de los ecosistemas acuáticos puede ser medida por medio del bio-monitoreo, utilizando a los organismos que ahí habitan como herramientas de diagnóstico.(Dokulil, 2003)

La manera tradicional de asegurar el impacto de la contaminación en los cuerpos de agua es por medio de mediciones de parámetros físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, estas mediciones solo pueden reflejar la concentración de contaminantes en el momento del muestreo, pero no de eventos esporádicos o intermitentes. Como tal estos métodos no proveen suficiente información ecológica, ya que los efectos de la contaminación en la biota acuática no pueden ser completamente medidos a través de parámetros fisicoquímicos.(Chikodzi et al., 2017) Es por esto que el biomonitoreo se considera una alternativa más acertada para la determinación del estatus ecológico de los cuerpos de agua, Fig. 1. El biomonitoreo es la pieza central en la evaluación biológica o ecológica debido a que es esencial el uso de indicadores estándares que puedan ser comparados dentro y entre ecosistemas a lo largo del tiempo (González et al., 2014).

Las especies bioindicadoras se definen como aquellas que por sus características (sensibilidad a las perturbaciones ambientales, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, entre otras) pueden ser usadas como estimadoras del estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente (Heink & Kowarik, 2009).

Algunas otras características que deben tener los bioindicadores es que sean especies sensibles a los cambios del ambiente (mientras más estrechos sean sus límites de tolerancia a los cambios, tiene mayor utilidad como indicador), los cambios que ocurren se producen muy poco tiempo después de originarse la alteración, su abundancia permite tomar muestras periódicamente sin comprometer la estabilidad de la población, su baja movilidad facilita conocer el origen del disturbio, son suficientemente resistentes para poder manipularlos, transportarlos al laboratorio y hacer experimentos y análisis con ellos, son fáciles de identificar y tienen una amplia distribución (González et al., 2014).

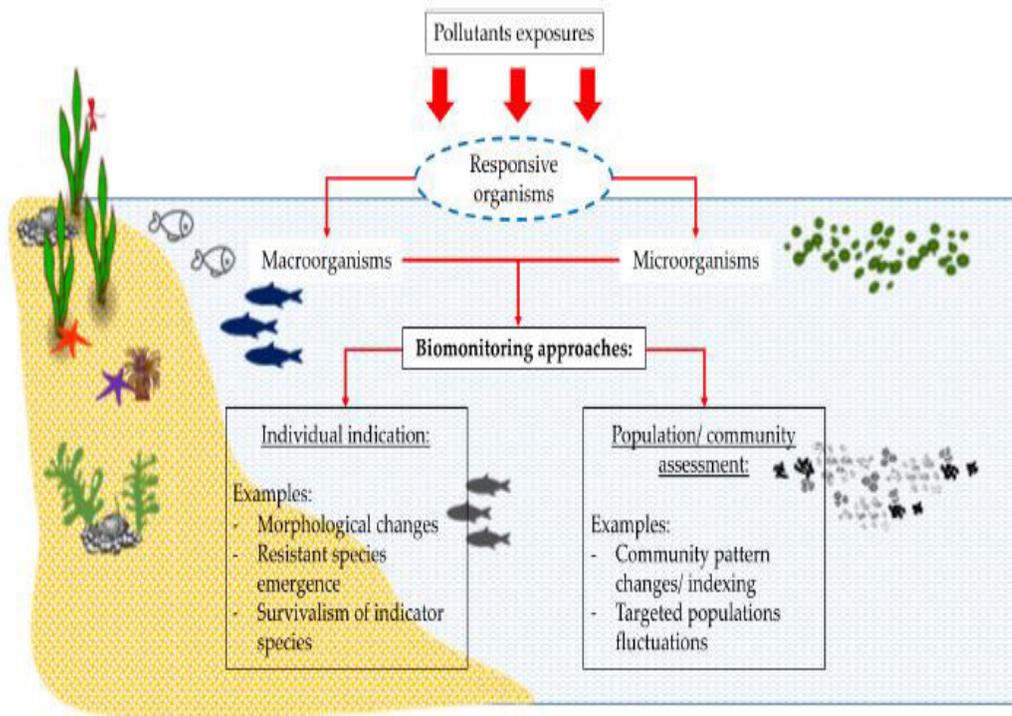


Fig. 1. La biomonitorización de la contaminación acuática mediante la utilización de macroorganismos autóctonos o microorganismos que se ven afectados por la presencia de contaminantes.

1.1.1 Línea de tiempo del uso de bioindicadores y biomonitoreo.

La historia de la evaluación de la calidad del agua utilizando indicadores biológicos para evaluar la presencia de contaminantes se remonta a Alemania a partir de donde se han derivado distintos indicadores (Metcalf, 1989). El valor de las algas como bio-monitores de agua dulce ya había sido reconocido a mediados del siglo XIX, De acuerdo con De Pauw & Vanhooren (1983) el monitoreo biológico en cuerpos de agua superficiales se inició en 1848 donde se notó la presencia de diferentes organismos en aguas contaminadas y en aguas sin alteraciones. A partir de este momento se desarrollaron variados métodos para la evaluación y monitoreo biológico de la calidad del agua. El primer intento para clasificar los organismos acuáticos como indicadores de la calidad del agua, fue realizado por Cohn en 1870, que después sería modificado por Mez (1898). En la primera década de 1900, Kolkwitz y Marsson definieron de manera más clara la relación que mantienen los organismos con la calidad del agua, estudiando las respuestas de dichos organismos a los cambios en las condiciones de su hábitat y definieron lo que hoy conocemos como “sistema saprobio”.

El sistema saprobio, se basa en el monitoreo de la presencia de especies microscópicas tales como plancton y perifitón, ubica diferentes clases de comunidades en ambientes para detectar enriquecimiento por materia orgánica, y abarca ambientes tanto aerobios como anaerobios. Un ambiente acuático tiene cierto nivel de saprobiedad, de acuerdo con su contenido de materia orgánica putrescible. Históricamente, el concepto de saprobiedad ha incluido tanto a organismos autótrofos como heterótrofos, por lo tanto, se han desarrollado índices para ambos tipos de organismos. Desde entonces se han desarrollado, modificado y diversificado varios sistemas para deducir la calidad del agua a partir de observaciones de los organismos indicadores.(Dokulil, 2003).

USO DE BIOINDICADORES

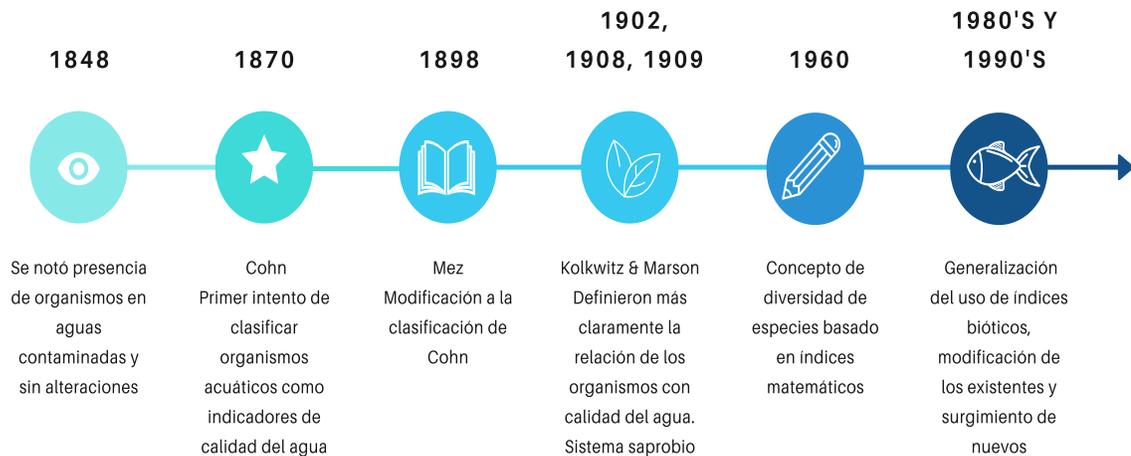


Fig. 2. Resumen uso de bioindicadores. Elaboración propia.

1.1. 2. Clasificación de Bioindicadores.

Cuando los bioindicadores que se utilizan son aquellas especies que se encuentran presentes en los ecosistemas a evaluar, se habla de biomonitoreo pasivo. En cambio, cuando son especies que se introducen o se utilizan sistemas de exposición controlada se tratan de estudios de biomonitoreo activo. (Anze et al., 2007).

De acuerdo con la manera en que los organismos reaccionan a los cambios en el medio, se les clasifica a los bioindicadores como detectores, explotadores o acumuladores. Los detectores son organismos que en presencia de estresores sufren aumento en su mortalidad, se altera su vida reproductiva, o disminuyen su abundancia, en cambio los explotadores experimentan crecimiento exponencial cuando la competencia desaparece o hay un enriquecimiento de nutrientes.

Por último, los acumuladores son aquellos organismos que tienen resistencia a ciertos contaminantes y como su nombre lo indica pueden acumularlos en sus tejidos sin un daño aparente (González et al., 2014).

Existen especies que por su importancia ecológica o porque contribuyen a despertar el interés y el apoyo del público en general, deben ser considerados como organismos bioindicadores, estas son:

- Especies bandera, que, por su carisma o belleza, atraen fácilmente la atención del público en general (ej. ajolote, tortugas marinas, flamencos).
- Especies centinela, que por tener una fisiología o dieta lo suficientemente similares a los humanos, o porque son muy sensibles a los contaminantes químicos, patógenos o toxinas, pueden proporcionar una indicación temprana de los posibles efectos adversos para la salud y proporcionar información sobre los mecanismos tóxicos de un agente peligroso.
- Especies clave, que, por sus efectos sobre el ecosistema, mayores que los esperados por su abundancia, juegan un papel vital en el mantenimiento de la estructura de una comunidad ecológica.
- Especies sombrilla, que por requerir de un hábitat extenso para mantener poblaciones viables, facilitan con su protección, la conservación de otras especies.(González et al., 2014).

1.1.3. Metodologías utilizadas para el análisis con bioindicadores.

En la tabla 1 se describen las metodologías existentes usadas por la USEPA en sistemas acuáticos para determinar la exposición biológica a contaminantes y otros cambios en el ambiente, de acuerdo con (Lazorchak et al., 2002).

Tabla 1. Relación de bioindicadores y descripción de metodologías relacionadas.

Enfoque	Clasificación	Descripción
Mediciones de comunidad y ecosistemas	Monitoreo de peces	Algunos atributos estructurales y funcionales de los peces son clasificados en categorías (composición taxonómica, funciones tróficas y reproductivas, abundancia y condición individual) que se supone responderían de cierta manera a la creciente intensidad de los disturbios de la actividad humana.
	Macroinvertebrados	La estructura de una comunidad es resumida en medidas numéricas simples de atributos. Para crear un índice estas medidas se calculan y ordenan usando una escala.
	Macroinvertebrados(marinos)	Se seleccionó un conjunto de sitios por la presencia de estresores para la comunidad béntica de macroinvertebrados. Algunos componentes de esta comunidad fueron seleccionados para representar el rango de respuestas potenciales a los estresores.
	Perifiton	<p>*Medidas estructurales de las comunidades de perifiton</p> <p>*Riqueza de especies, diversidad y similitudes del conjunto.</p> <p>*abundancia relativa de especies indicadores</p>

1.2 Caso de Estudio: Algas

Las algas son un conjunto polifilético de organismos fotosintéticos que incluye algas marinas (macroalgas) y un grupo altamente diverso de microorganismos conocidos como microalgas. Presentes en agua dulce, marina y hábitats terrestres y con una amplia diversidad bioquímica, el número de especies de algas ha sido estimado entre uno y diez millones, siendo la mayoría de ellas microalgas. (Metting, 1996).

Las microalgas necesitan de 3 componentes principales para su crecimiento: luz solar, agua y una fuente de carbono. Obtienen sus nutrientes de ambientes acuáticos, absorben la luz del sol, capturan CO₂ del aire y producen cerca de 50% del oxígeno atmosférico. Así mismo, son capaces de crecer bajo diferentes tipos de condiciones metabólicas, tales como autotróficas, heterotróficas, fototróficas y mixotróficas. En estos seres vivos el cambio de metabolismo puede ocurrir como resultado de la variación de condiciones ambientales. (Rizwan et al., 2018)

Las algas han sido ampliamente utilizadas como bioindicadores de la calidad del agua, pues brindan información acerca del comportamiento temporal de contaminantes y permiten evaluar información o cambios ambientales a corto plazo, específicamente las algas bénticas (que se encuentran en la superficie del agua) tienen ciclos de vida cortos y por lo tanto puede esperarse que respondan rápidamente a los cambios del medio ambiente. Estos organismos al ser la base de las cadenas alimenticias acuáticas ocupan una posición fundamental de interferencia entre las comunidades biológicas y su entorno fisicoquímico.

Las algas más ampliamente utilizadas en el monitoreo de calidad del agua son las diatomeas, ofreciendo ventajas para el seguimiento de sedimentos y contaminantes en general, como metales pesados (Bellinger & Sigeo, 2013). Las algas tienen tolerancias y preferencias ambientales específicas para cada especie, respondiendo directamente a las características químicas del medio acuático (tales como nutrientes, pH, salinidad, presencia de herbicidas, entre otras). Si se comparan con organismos macroinvertebrados y peces, las algas son más aptas para estudios de escala local debido a su posición en las cadenas alimenticias y su

movilidad restringida. Son más útiles en contextos de eutroficación, pero también se ha demostrado que pueden servir para detectar contaminación orgánica.(Dokulil, 2003).

Las algas están clasificadas dentro de 7 grupos de acuerdo con las siguientes características: sus pigmentos fotosintéticos, la composición química de los productos asimilables de reserva, tipo, número y morfología de los flagelos, composición química de la pared celular, características morfológicas de la célula y el talo, ciclo de vida y reproducción. La siguiente tabla resume la clasificación en dichos grupos y las características de cada uno de ellos.

Tabla 2. Resumen de clasificación de algas.

Grupo	Forma del talo	Pigmentos fotosintéticos	Forma de almacenar su alimento	Composición de pared celular
<i>Chlorophyta</i> (algas verdes)	Unicelular, multicelular y filamentosas	Clorofilas a y b, carotenoides	Almidón	Polisacáridos y celulosa
<i>Pheophyta</i> (algas pardas)	Multicelular	Clorofilas a y c, carotenoides y fucoxantina	Laminarina	Celulosa
<i>Rhodophyta</i> (algas rojas)	Multicelular	Clorofila a y d, ficobilinas y carotenoides	Almidón	Celulosa o pectina con carbonato de Calcio
Bacillariophyta (diatomeas)	Mayoría unicelular	Clorofila a y c, carotenoides y xanthophyla	Leucosina	Pectina y en algunos casos dióxido de silicio
Dinoflagellata (dinoflageladas)	Unicelular	Clorofilas a y c, carotenoides	Almidón	Celulosa
Crysophyta (algas doradas)	Mayoría unicelular	Clorofilas a y c, carotenoides y xanthophyla	Laminarina	Celulosa
Euglenophyta (euglenoides)	Unicelular	Clorofilas a y b, carotenoides y xanthophyla	Almidón	No presenta pared celular, solo película compuesta de proteínas

1.2.1. Ejemplos de uso

Como se ha mencionado anteriormente las microalgas pueden ser un importante indicador de las características de su hábitat y al ser organismos en la base de la cadena alimenticia nos ayudan a saber si los contaminantes presentes en el agua pueden llegar a otros niveles tróficos y especialmente a los humanos.

En la siguiente tabla, se resumen algunos de los estudios en los que se analiza el papel de las microalgas como bioindicadores de la calidad del agua, para detectar presencia de contaminantes.

Tabla 3. Resumen de los estudios de las microalgas como bioindicadores de la calidad del agua.

Título	Metodología	Resultados	Referencia
Can plankton communities be considered as bio-indicators of water quality in the Lagoon of Venice	Muestras recolectadas cada mes en 5 estaciones de monitoreo por 2 años. Medición de transparencia, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes (NH ₄ , NO ₃ , NO ₂), clorofila a, carbono orgánico particulado. Diversidad de especies fue calculada de acuerdo con Margalef (1997).	Temperatura y salinidad son los dos factores principales que contribuyen a la distribución del plancton en la laguna de Venecia. Las estaciones más eutróficas son las que tienen descargas urbanas e industriales. No hubo dominancia de alguna especie de fitoplancton, en cambio de zooplancton abundó <i>A. tonsa</i> .	(Bianchi et al., 2003)
Role of macrophyte communities as bioindicators of water quality : Application on the Tiber River basin (Italy)	Selección de 97 sitios de muestreo en la cuenca de Tiber. Medición de parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura conductividad y concentración de oxígeno por un medidor multiparámetro, información sobre	Existencia de gradientes de parámetros fisicoquímicos, en parte por condiciones naturales y en parte por contaminación humana. Concentración de	(Ceschin et al., 2010)

	<p>concentraciones de amonio, fosfatos, nitratos fueron provistos por autoridades locales.</p> <p>Análisis de vegetación: realizado 2005-2007, en cada estación de muestreo se hizo un inventario cualitativo-cuantitativo de las especies macrofitas de acuerdo a método fitosociológico de escuela Zurigo-Montpellier.</p> <p>Procedimiento estadístico: identificación de fitocenosis acuáticas principales, descripción de principales tendencias de parámetros fisicoquímicos a lo largo de río Tiber, Nera y Aniene, descripción de patrones fitocenologicos a lo largo de los ríos, determinación de compatibilidad de curvas de fitocenosis y parámetros fisicoquímicos.</p>	<p>fosfatos fue alta en dos puntos, debido a agricultura y contaminación urbana.</p> <p>Diversidad y distribución de vegetación: se detectaron 15 grupos que representan las comunidades de plantas acuáticas más comunes en la cuenca.</p> <p>La distribución de algas en la cuenca del Tiber, muestra relación con los gradientes de los parámetros fisicoquímicos.</p>	
<p>Benthic algae as bioindicators of agricultural pollution in the streams and rivers of southern Québec</p>	<p>Se tomaron muestras semanalmente (julio-agosto 1999) en 29 sitios al sur de Quebec (4 de ellos sin impacto por agricultura) de las cuales se analizó pH, conductividad, temperatura, sólidos suspendidos, turbidez, nitrógeno total disuelto, amonio, nitratos, fósforo total, carbono orgánico disuelto. Se tomaron muestras de algas cada 2 semanas (3 sustratos: bloques de cerámica, rocas del río y otras rocas (medio estéril)). Se realizaron análisis de</p>	<p>Comparación de sustratos: se encontró mayor variación en la biomasa por el día de muestreo, que por el tipo de sustrato. Los valores conductividad, nutrientes y turbidez fueron notablemente menores en sitios de referencia. El volumen de diatomeas varió de 5%-98% de toda la comunidad béntica. pH, conductividad y sólidos</p>	<p>(Lavoie et al., 2004)</p>

	<p>Clorofila a (extraído 95% alcohol a 60°C, cuantificado en espectrofotómetro), peso seco libre de ceniza (secado 24h a 80°C, mufla a 500°C por 2h) e identificación de diatomeas. ANOVA para análisis de datos.</p>	<p>suspendidos parámetros con mayor influencia en gradientes de diatomeas</p>	
<p>Recent views on river pollution and diatoms</p>	<p>Se hizo una revisión de los estudios realizados entre 1999 y 2009 sobre la contaminación de ríos y el empleo de diatomeas. Se seleccionaron 226 papers separaron en grupos de acuerdo con el tema que abarcaban.</p>	<p>Se encontró que la mayoría de los estudios eco toxicológicos son experimentales y restringidos a pequeñas áreas de estudio.</p>	<p>(Rimet, 2011)</p>
<p>Phytochelatin production in freshwater algae <i>Stigeoclonium</i> in response to heavy metals contained in mining water; effects of some environmental factors</p>	<p>Se recolectó <i>Stigeoclonium</i> de un estanque que recibe flujo proveniente de una mina, con un pH de 8.2, en abril 1998, y mantenida a 8°C en agua filtrada de su locación. Se aisló <i>Stigeoclonium tenue</i> de un lago no contaminado en el área de reserva natural Botshol, se cultivó en condiciones de laboratorio en medio líquido Woods Hole. Se recolectó la biomasa por filtración, lavado con agua destilada, extraída inmediatamente y analizada para determinar la presencia de fitoquelatina.</p>	<p>En la muestra de agua con flujo de mina, ocurrió abundante crecimiento del alga. El análisis por absorción atómica demostró que <i>Stigeoclonium</i> acumuló altas cantidades de metales pesados.</p>	<p>(Pawlik-Skowronska, 2001)</p>
<p>Ecological effects of some heavy metals (Cd, Hg, Pb, Cr) pollution of phytoplanktonic algae and zooplanktonic</p>	<p>Muestras de agua y fitoplancton fueron recolectadas dos veces al mes en estaciones de muestreo y transferidas al laboratorio para análisis de metales pesados. Las muestras de plancton fueron filtradas con papel sin ceniza,</p>	<p>Las especies predominantes de algas pertenecen a las clases Cyanophyta, Pyrrhophyta, Euglenophyta, Xanthophyta,</p>	<p>(Atici et al., 2008)</p>

<p>organisms in Sariyar Dam reservoir in Turkey</p>	<p>luego secadas en estufa a 90°C por 24h y se anotó su peso seco. Se mantuvo a 550°C por 4h y fue enfriado. Se hizo digestión a 80°C añadiendo 20 ml de HCl 1.5N, filtrada en tubos de 100 ml, se agregó 100 ml de agua destilada y las muestras se analizaron en espectrofotómetro de absorción atómica. La identificación de especies se hizo de acuerdo con Kolisko(1974), Koste (1978), Edmondson (1959), Round (1973), Pestalozzi (1982), Gerrath and Denny (1979), Oskar and Gonzales (1979), Van Den Hook et al. (1995), Ustao_lu (2004).</p>	<p>Chrysophyta, Rhodophyta, Chlorophyta and Bacillariophyta. La acumulación de metals pesados en las muestras de plancton fueron Pb>Cr>Cd>Hg en primavera; Pb>Cr>Cd>Hg en verano; Pb>Cr>Cd>Hg en otoño; y Pb>Cr>Cd>Hg en invierno. De acuerdo con los criterios de calidad del agua para cuerpos de agua intercontinentales para Pb, Cr, Cd y Hg el agua del lago está en la cuarta clase de aguas contaminadas. Pb fue el más alto en concentración de los metales pesados.</p>	
<p>Exploration and determination of algal role as bioindicators to evaluate water quality</p>	<p>Recolección mensual de muestras de agua y algas, las algas fueron preservadas en formalin al 2 a 3%. Se tomaron microfotografías de las algas en el laboratorio PCSIR Lahore y se utilizó el índice de Palmer para determinar la calidad del agua.</p>	<p>En el estudio se identificaron 201 especies de algas pertenecientes a 57 géneros, 42 familias, 25 órdenes, 10 clases y 7 divisiones. Los resultados de utilizar el índice de Palmer revelaron que uno de los lagos tiene probable</p>	<p>(Khalil et al., 2021)</p>

		contaminación orgánica, dos presas no cuentan con contaminación orgánica, mientras la última de ellas tiene alta contaminación orgánica.	
--	--	--	--

Los metales están presentes en la naturaleza y son componentes esenciales de los ecosistemas. Sin embargo, como parte de las actividades antropogénicas industriales y de minería, su presencia como contaminantes del ambiente ha ido en aumento y llegado cada vez a más lugares, ocasionando problemas graves para la salud de los ecosistemas. Para determinar la manera en que estos metales afectan a los organismos presentes en el ecosistema, se han realizado diversos estudios sobre su toxicidad y efectos, destacando en nuestro caso de estudio los cambios que tienen las algas en ambientes con presencia de metales pesados.

El Cadmio afecta la actividad fotosintética y reduce la productividad primaria del fitoplancton, en concentraciones tan pequeñas como 0.2 a 5 mg/L, afectando también la estructura de comunidades de zooplankton. Algunos de sus efectos tóxicos en algas encontrados por Conway (1978) indican que 2 mg/L de Cd limita el crecimiento de poblaciones de algas y 10 mg/L inhibe el crecimiento con un día de exposición. Koivisto et al. (1992) reportó que 0.32 y 2 mg/L de Cr afectan el crecimiento y estructura de *Euglena* sp. y *Chorella vulgaris*, respectivamente. Los efectos tóxicos del Cr en algas han sido reportados por Mangi et al. (1978).

El Mercurio, otro metal pesado, puede ser acumulado por algas y plantas acuáticas, en los lagos. La acumulación de Hg suele ser rápida, sin embargo, su eliminación se da de manera lenta. (Atici et al., 2008). También se han detectado algunas especies de microalgas que pueden hacer frente a las concentraciones de metales en su medio, como el género *Scenedesmus*, que según Morsi una cepa resistente al Cr mostró también un mejor crecimiento en presencia de Cu. *Chlorella vulgaris* demostró bioacumulación de Co, Cu y Zn según el estudio de Afkar et al. Y

en el estudio de Khummongkol et al. la adsorción de Cd mostró relación con la cantidad de fosfatos presentes en el medio. Por otro lado las algas verdes *Chlamydomonas* al estar expuestas a lixiviados de minas de sal, con presencia de Cd, Cu, Hg y Pb, sufrieron inhibición de la fotosíntesis en distintos rangos.(Pinto et al., 2003)

Es importante mencionar que la alta presencia de nutrientes, en especial el nitrógeno, incrementa la capacidad de las algas para la retención de los metales pesados, lo cual sugiere que, en cuerpos de agua con efluentes provenientes de actividades como agricultura y ganadería, estos elementos entren de una manera más fácil a la cadena alimenticia, debido a que la acumulación de metales por mecanismos celulares de desintoxicación los hace más propensos a ser asimilados por los organismos.

1.3. Antecedentes

México, siendo un país con gran cantidad de recursos naturales, cuenta con varios cuerpos de agua como ríos, arroyos, lagos, acuíferos, ríos subterráneos, también con extensiones artificiales como embalses y presas (Agua, 2019; Naturales & Agua, 2015). El 78% del agua se utiliza para la agricultura, el 12% para uso doméstico y el 10% para la industria(Barima et al., 2014; Bonanno et al., 2020; Galán et al., 2016; Hinojosa-Garro et al., 2020). Una vez que el agua se utiliza en entornos agrícolas, las aguas residuales que contienen agroquímicos y otros productos químicos se generan y se liberan a los ríos. Además, 14 km³/año se generan a partir de la industria (43,8%) y del uso del agua en los municipios (56,2%), que también se vierte en ríos, lagos y presas de todo el país (Catherine Mathuriau, 2012).

El estudio del estado del agua en estos cuerpos representa una tarea importante debido a los problemas relacionados con la calidad del agua. Las interacciones fisicoquímicas inducidas por las prácticas humanas, han modificado la composición de este recurso de forma significativa, generando un desequilibrio

en la flora y fauna local. El biomonitoreo es la evaluación de los efectos deletéreos de una sustancia tóxica sobre ciertos organismos (Aissaoui et al., 2017; Bonanno et al., 2020; Gutiérrez-Fonseca & Lorion, 2014; Wannaz et al., 2006; Wepener, 2013)), por lo que es una herramienta muy útil para evaluar las perturbaciones y sus efectos en un ecosistema al analizar organismos vivos. Estos organismos pueden definirse como bioindicadores porque reflejan las condiciones de su entorno y son sensibles o resistentes a los cambios efectuados en este (de la Lanza-Espino et al., 2000). Son capaces de determinar cuantitativamente la presencia de sustancias tóxicas que afectan el equilibrio acuático (Andrade-Herrera et al., 2019).

Se han propuesto (Serrano Balderas et al., 2016) y utilizados bioindicadores para estudiar la calidad del agua en diversos cuerpos de agua en el país para analizar el estrés ambiental o de contaminación (Adams et al., 1996; Galán et al., 2016; Gerhardt, 2002; Kardel et al., 2018; Rocha et al., 2018; van Straalen, 1998; Wan Jusoh et al., 2020) (J. A. Ramírez, 2015); estudiar aguas con metaloides (Jazmin, 2016); evaluar la calidad del agua y la relación que tiene con la localidad y uso de suelo (Eugenia López-López and Jacinto Elías Sedeño-Díaz and Erick Mendoza-Martínez and Andrea Gómez-Ruiz and Emilio Martínez, 2019); determinar los metales y fármacos presentes en aguas residuales, así como su toxicidad (SanJuan-Reyes and Marcela, Galar-Martínez, 2018); evaluar la toxicidad de efluentes municipales (Leopoldo Islas-Flores and Karen Adriana Novoa-Luna and Hariz Islas-Flores and Nely San Juan-Reyes and Leobardo Manuel, 2019); estudiar los efectos del uso de suelo en riberas (Daniel Castro-López and Pablo Rodríguez-Lozano and Rebeca Arias-Real and Víctor Guerra-Cobián and Narcís, 2019); determinar la calidad del agua en manantiales (Elisa Ramírez-Villalobos and José Rosas-Acevedo and Justiniano Gonzalez-Gonzalez and Humberto, 2015); evaluar el efecto inmunotóxico de pesticidas organofosforados ("Phagocytosis and ROS production as biomarkers in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) leukocytes by exposure to organophosphorus pesticides," 2019); evaluar el estado ecológico ("Water resources conservation and rural livelihoods in protected areas of central Mexico," 2020) (Silva-Hurtado et al., 2020) (Víctor, 2019) (Yanes-Gomez et al., 2018); detectar los efectos resultantes del cambio climático y perturbaciones

antropogénicas (Montes-Ortiz & Elias-Gutierrez, 2018); determinar la presencia de pesticidas organoclorados en peces comerciales ("Organochlorine pesticides in commercial fish species of the southeastern Gulf of California," 2020); la relación entre la contaminación y las variables ambientales ("Fluctuating asymmetry of sclerotized structures of *Haliotrematoides* spp. (Monogenea: Dactylogyridae) as bioindicators of aquatic contamination," 2020); establecer una línea de base de contaminación por trazas de metales (Demián Hinojosa-Garro and Jaime Rendón von Osten and Ricardo, 2020); determinar la salud del medio debido a la agricultura y extracción de petróleo (Víctor Manuel Vidal-Martínez and Oscar, 2014); detectar la exposición a plaguicidas y sus efectos (Omar Cruz Santiago and César Arturo Ilizaliturri Hernández and José de Jesús Mejía Saavedra and Guillermo Espinosa Reyes and Ma. Catalina Alfaro de la Torre and Donaji Josefina González, 2020); entre otros.

1.3.1. Sitio de estudio: Caso Presa la Purísima

La Presa la Purísima, forma parte del acuífero Silao-Romita y cuenca hidrológica Lerma-Santiago, se construyó en un lugar donde confluyen los ríos Guanajuato, el río Chapín y el de La Trinidad, además del río que baja del Cubo, todos ubicados en el municipio de Guanajuato y abasteciendo de agua al distrito de riego No.11. Se localiza entre los 20°51'43" de latitud norte y 101°17' 10 de longitud oeste.

Las actividades antrópicas en el área de captación son la minero-metalúrgica, urbana y agrícola. Es de esperarse la presencia de diversos contaminantes que se incorporan a las corrientes de Río Cubo y el Río Guanajuato, principales afluentes de la presa la Purísima, debido a las actividades que aquí se desarrollan y a la carencia de procesos para el tratamiento de aguas residuales, además durante época de estiaje, los escurrimientos hacia la presa se deben principalmente a aguas residuales provenientes de las zonas circundantes generando así una zona de contaminación excesiva para la vida acuática y vida silvestre.(Velázquez et al., 2016).

La zona presenta tres tipos de vegetación: bosque tropical caducifolio, vegetación acuática y subacuática y matorral xerófilo, alberga a 215 especies de fauna con 43 especies con alguna categoría de riesgo y/o endémica, y 137 especies de flora con 2 especies en la NOM-059-SEMARNAT-2010.(Territorial) Esta cuenca tiene una vocación hidrológica y minera. Es de importancia hidrológica, en especial por la sierra de Guanajuato, que con su cubierta forestal actúa como una “esponja”, concentrando sobre ella la precipitación, reteniendo el agua, recargando los acuíferos y manantiales, manteniendo vivos los cuerpos de agua que salen de ella durante la temporada de secas.(Medina et al., 2007).

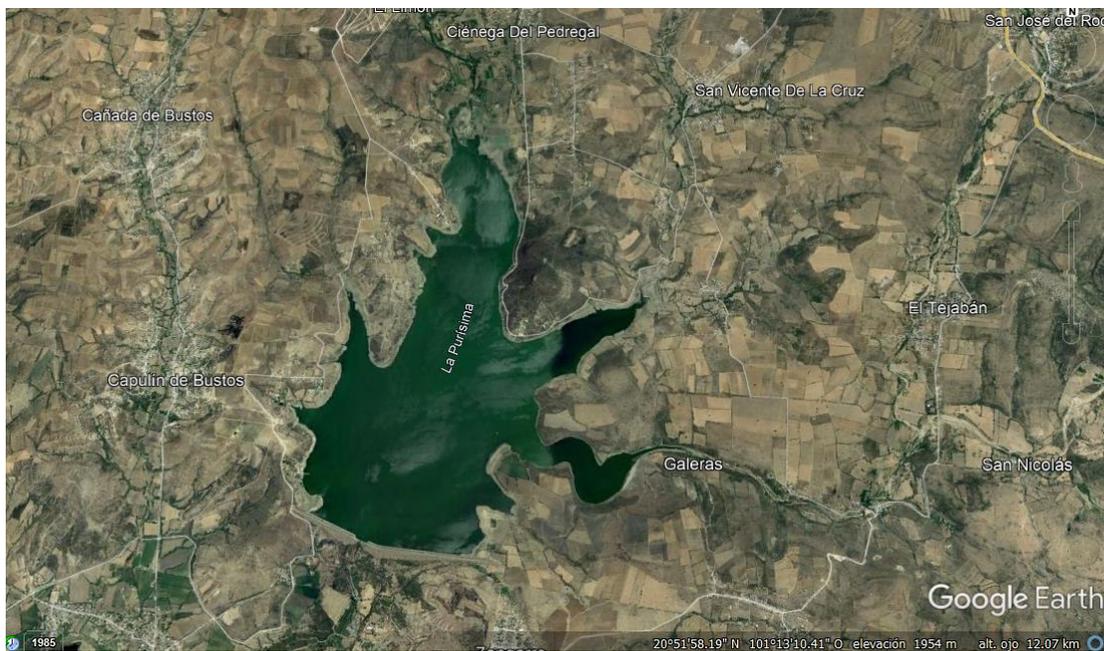


Fig. 3. Imagen satelital de la Presa La Purísima. Tomada de Google Earth

1.3.1 Estudios realizados en el sitio

Dentro de este sitio se han realizado anteriormente algunos estudios para determinar la calidad del agua y posible contaminación de sedimentos. Los más notables son (Rivera & G., 2011) donde se evaluaron parámetros fisicoquímicos del agua como temperatura, pH, sólidos totales, conductividad, nitratos, sulfuros, entre otros, así como calidad microbiológica, presencia de metales, hidrocarburos y

plaguicidas. Se encontró la presencia de Hg, Fe y Se en las muestras de agua en concentraciones más altas de las permitidas por la normatividad para la protección de la vida acuática.

Otros estudios enfocados en los sedimentos de la presa (García et al., 2017; Solís, 2018) han detectado la presencia de Arsénico en niveles elevados, atribuyéndose principalmente a actividades antropogénicas de la zona como la minería, encontrándose la mayor concentración en la zona ribereña.

Por otra parte, el estudio de (Cano et al., 2000) coincide en sus resultados, determinando que el agua de la presa sobrepasa límites máximos permisibles de metales para la protección de la vida acuática, en 25, 30, 80 y 180 veces para el As, Pb, Hg y Se, respectivamente. El estado de Guanajuato, al contar con 43% de su superficie con clima seco o semiseco, ha sufrido en los últimos años de periodos recurrentes de sequías. Durante el 2020 y 2021, la situación amenazaba con empeorar, sin embargo, este año se ha vivido una situación contraria, con algunas de las presas del estado llenas a su máxima capacidad y otras rebasando el 80%.

En la presa de La Purísima, se han visto grandes cantidades de agua durante los meses de octubre y noviembre, inundando partes de las casas aledañas y afectando a los pobladores.



Fig. 4. Avance del agua en la presa el 2 de octubre 2021.

Capítulo 2

2.1 Hipótesis

En base a las especies de algas identificadas se puede predecir la salud ambiental del cuerpo de agua (presas o lagos), debido a que las algas pueden presentar cambios en su morfología debido a la presencia de metales pesados.

2.2 Justificación

Debido a las actividades agrícolas, urbanas y minero-metalúrgica que se realizan en las cercanías de la presa La Purísima y sus afluentes, y a que se ha determinado que los contaminantes presentes en esta tienden a emigrar hacia los pozos de la zona de puentecillas, donde se utilizan como fuente agua potable, se considera de gran importancia estudiar la contaminación en este lugar.

Como se ha mencionado anteriormente el uso de bioindicadores de la calidad del agua es una práctica que nos puede arrojar resultados más específicos sobre la interacción de los contaminantes con el medio, los organismos presentes y los efectos que provocan en estos. Dado que con el solo análisis de parámetros fisicoquímicos no es posible determinar las situaciones mencionadas, es que cobra importancia el uso de organismos vivos.

Las algas al ser la base de la cadena alimenticia en los ecosistemas acuáticos se consideran organismos muy útiles por su interferencia entre las comunidades biológicas y su entorno. Así mismo se sabe que tienen respuestas rápidas a cambios en su medio y de esta manera es más fácil detectar alteraciones en las condiciones típicas de los ecosistemas.

En este estudio tiene la finalidad de caracterizar el agua de la presa, determinando sus principales contaminantes y mediante el análisis en las algas estimar los efectos que pueden provocar en las comunidades bióticas, ayudando así a entender mejor la problemática del cuerpo de agua.

2.3 Objetivos

Objetivo general

Identificar y analizar la importancia de las algas como bioindicadores de cuerpos de agua en correlación con los elementos contaminantes.

Objetivos específicos

- Identificar los principales contaminantes en la presa La Purísima
- Identificar especies de algas presentes en la presa
- Determinar la presencia de metales en composición de las algas
- Determinar cambios en la morfología de las algas

Capítulo 3

3.1 Metodología

3.1.1 Etapa 1

Toma de muestras de agua y algas

Se escogieron 24 sitios para la toma de muestras alrededor de la zona ribereña de la Presa de la Purísima, tales muestras se tomaron en el transcurso de 2 días de muestreo, el 2 y 9 de octubre. Las muestras se recolectaron con ayuda de recipientes de plástico de 1L, se enjuagó el recipiente antes de tomar la muestra y se sumergió completamente en el agua hasta que alcance su capacidad máxima. En el mismo punto se midieron parámetros como temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto.

3.1.2 Etapa 2

Análisis fisicoquímicos de muestras

Por medio de equipos HACH para trabajo de campo se analizaron concentraciones de distintos elementos en el agua como Hierro, Cadmio, Arsénico, Cromo, Cobre, Mercurio, nitritos, nitratos, sulfatos, entre otros, siguiendo los métodos referidos en los manuales de la misma marca. (HACH, 2000)

3.1.3 Etapa 3

Análisis biológico

Análisis por microscopía óptica

Para la observación de las muestras en el microscopio óptico, primero se montaron estas en portaobjetos, por medio de asas microbiológicas se tomó un poco de muestra, se esparció en el portaobjetos y este se expuso al calor para fijar la muestra. Una vez los frotis estuvieron secos se procedió a observarlos en el microscopio por medio del objetivo de inmersión. Se tomaron fotografías con la cámara adjunta al microscopio y se realizó la medición de las dimensiones de las algas.

Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM)

Las muestras se prepararon por distintos métodos para su análisis en SEM. El primero fue liofilización. La muestra más representativa se realizó también con Glutaraldehído como fijador. En 4 tubos Eppendorf de 1.5 ml se añadieron 1ml de muestra, previamente agitada con vórtex y 0.5 ml de fijador, dos de estos tubos se dejaron precipitar por 24 h, los otros dos se centrifugaron a $2 \times 100g$ durante 3 minutos y después se dejaron precipitando por 24 horas.

Se realizaron 3 lavados con PBS después de los cuáles se centrifugó las muestras para obtener solamente el precipitado. Este se montó en pedazos pequeños de portaobjetos y se analizaron en el SEM. Para su observación los portaobjetos con las muestras fueron recubiertos con oro.

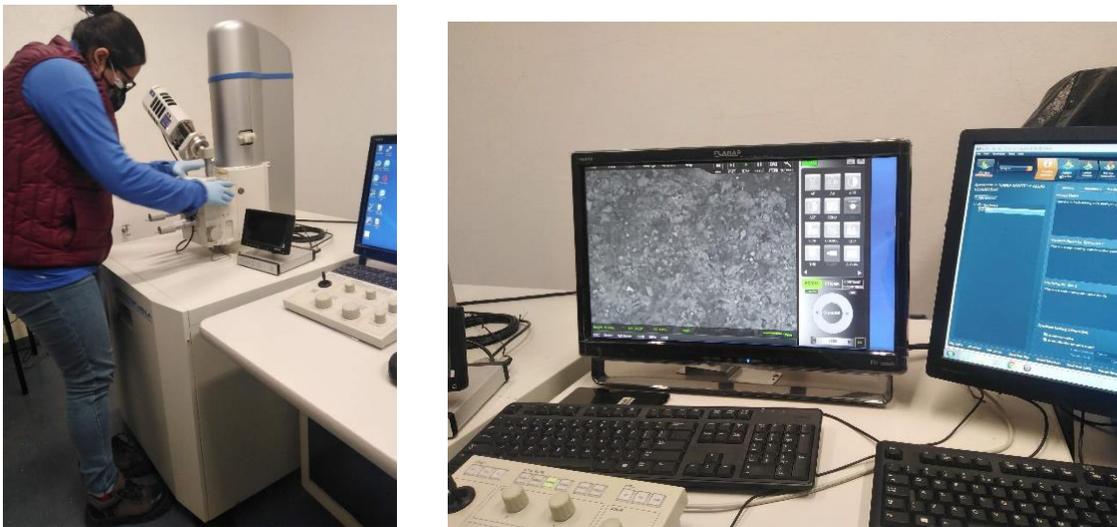


Fig. 4 Análisis con SEM

Análisis por microscopía estereoscópica

Las muestras fijadas con glutaraldehído se observaron también en el microscopio estereoscópico y se realizaron mediciones de algunas estructuras más representativas.

Determinación de clorofila

Las muestras fueron filtradas con filtro GFF, el cual una vez realizada la filtración fue doblado 2 veces, colocado en papel aluminio y almacenado en congelador por 24h. Transcurrido el tiempo se realiza la extracción de clorofila, colocando en un tubo forrado de aluminio 8 ml de acetona y después el filtro cortado en pequeños pedazos. Se realizó la lectura de absorbancia en espectrofotómetro en 665 nm.

Para realizar curva de calibración, se midió absorbancia de clorofila estándar en diferentes porcentajes de dilución (0.05%, 0.1%, 0.15%, 0.25%, 0.0025%).

Capítulo 4

4.1 Resultados

4.1.1 Análisis fisicoquímico de muestras de agua.

Se realizaron varias campañas de muestreo para el análisis de muestras de agua de la Presa de la Purísima. La primera campaña de trabajo de campo fue durante antes de la Era COVID (2019-COVID), durante los meses de noviembre y diciembre 2019. La segunda se realizó tomando todas las medidas preventivas en mismos meses en el 2020 (2020-COVID); y la tercera en el presente año 2021 (2021-COVID) durante los meses de julio a noviembre. Los resultados muestran el grado de contaminación que presenta la Presa la Purísima durante estos tres últimos años. Las muestras de agua analizadas mostraron concentraciones de metales y metaloides por arriba de los límites permisibles, en base a la NOM 127-SSA, **Tablas 4 y 5**.

Tabla 4. Resultados de los parámetros fisicoquímicos promedios en muestras de agua obtenidas del 2019 al 2021 en la Presa de la Purísima.

Parámetros	2019-COVID	2020-COVID	2021-COVID	Límite permisible (NOM 127)
pH	8.5	8.8	8.45	6.5-8.5
Oxígeno disuelto (OD) mg/L	220±11.5	300±10.3	230±15.5	n.a
Conductividad (mmhos/cm)	282±15.5	255±64.1	185±24.1	n.a
Aluminio mg/L	0.11	0.15	0.19	0.20
Cianuros totales, mg/L	n.d.	0.06±0.001	0.001±0.0001	0.07
Dureza total(CaCO ₃) mg/L	221±1.1	344±1.5	195±1.9	500.00
Fluoruros como F ⁻¹	0.56±0.02	1.06±0.2	n.d.	1.50
Nitrógeno amoniacal, mg/L	0.3 ± 0.02	1.5 ± 0.2	0.1±0.001	0.50
Nitrógeno de nitratos, mg/L	9 .1± 0.3	15 .1± 1.2	5.8±0.5	11.00
Nitrógeno de nitritos , mg/L	0.61± 0.01	1.01± 0.2	0.8±0.01	0.90

Sólidos disueltos totales, mg/L	750± 1.8	850± 5.8	344±12.1	1000.00
Sulfatos (SO ₄ ⁼), mg/L	750± 4.5	755± 4.5	65±0.23	400.00

Tabla 5. Resultados de concentraciones de metales y metaloides promedios en muestras de agua obtenidas del 2019 al 2021 en la Presa de la Purísima.

Parámetros	mg/L			Límite permisible NOM 127
	2019-COVID	2020-COVID	2021-COVID	
Arsénico	0.027±0.003	0.028±0.004	0.008±0.001	0.025
Cadmio	0.08±0.001	1.09±0.001	3.40±0.01	0.005
Cobre	0.9 ±0.01	1.14±0.01	0.04±0.01	2.00
Cromo	1.10±0.01	0.91±0.02	0.11±0.01	0.05
Manganeso	0.11± 0.04	0.14± 0.05	4.44±0.02	0.15
Mercurio	0.010±0.001	0.012±0.001	0.4±0.01	0.006
Níquel	0.02 ±0.005	0.08 ±0.005	n.d.	0.07
Plomo	0.03±0.006	0.07±0.008	0.022±0.01	0.01

4.1.2 Análisis biológico (microscopía)

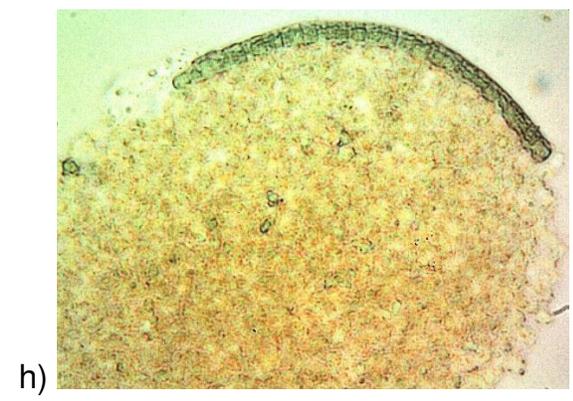
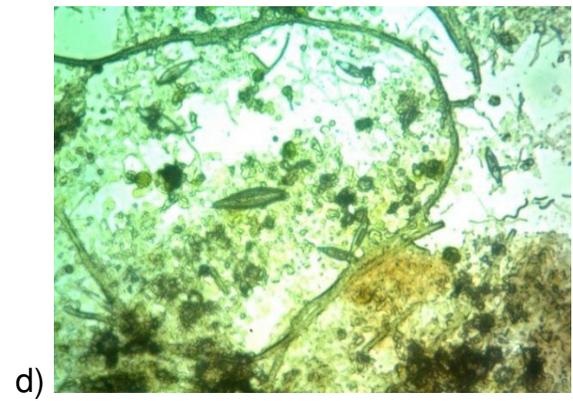
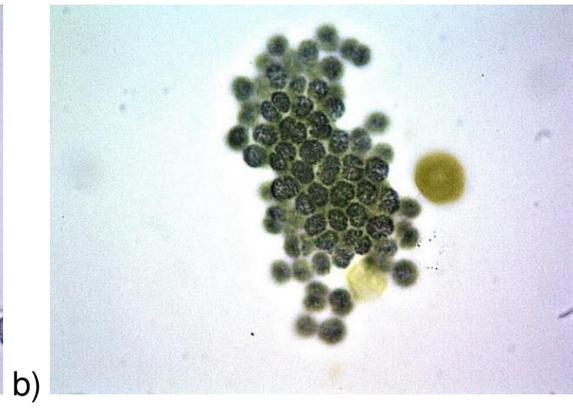
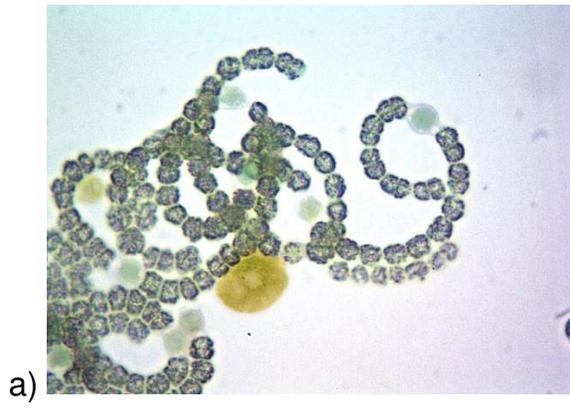
Microscopia óptica

De acuerdo a las imágenes observadas en el microscopio y las fotografías tomadas con la cámara, y basándose en la base de datos Algaebase se logró identificar algunos géneros de algas presentes.

El promedio de las medidas de longitud y diámetro obtenidas se registró en la siguiente tabla

Tabla 6. Promedios de tamaño de algas observadas en microscopio óptico

Muestra	Tipo de alga	Promedio de tamaño (px)
A1	Chlorella	32.76082833
A3	Chlorella	27.342396
	Diatomea	172.0029
A4	Microcystis aeuroginosa	44.32650136
	Oscillatoria	710.5932125
	Diatomea	76.5506
N3	Scenedesmus ancho	36.8744375
	Scenedesmus largo	202.9568167
	verdes ovaladas largo	109.396
	verdes ovaladas ancho	95.78545
	Stephanocyclus	91.9347
Algas	Microcystis aeuroginosa	39.24273077
	Anabaena	32.98641857
	Anabaena(color claro)	43.14027143
P4	Chroococcus	105.0540875
	Chlorella	31.298475
	colonia verde pequeña	25.46613846
	cianobacteria	716.74505
	Scenedesmus ancho	45.2641857
	scenedesmus largo	221.86794



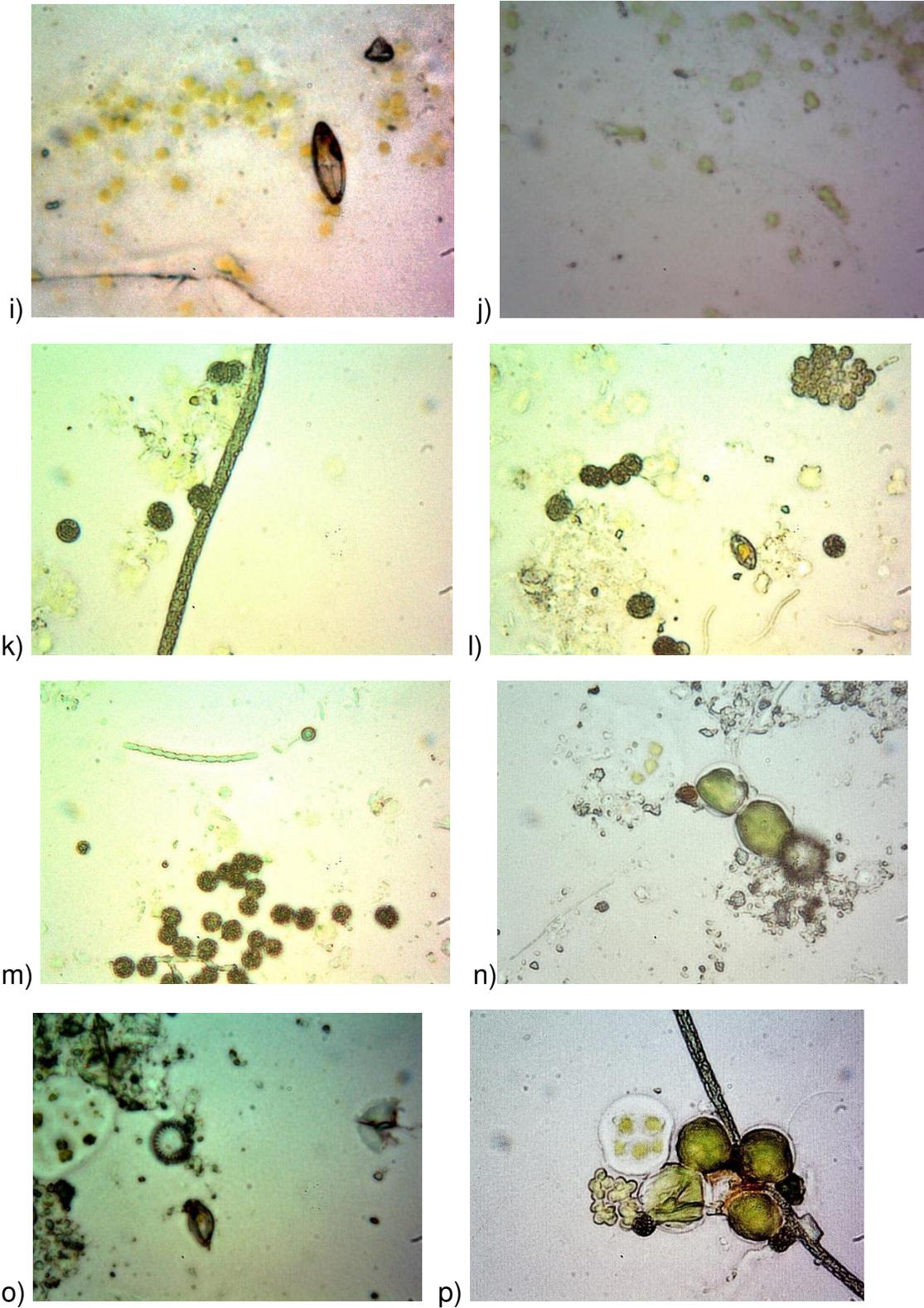


Fig. 5 Fotos obtenidas con cámara del microscopio óptico. a) *Anabaena*. b), m) *Microcystis*. c) y h) *Oscillatoria*. e) y f) *Scenedesmus*. g), n) y p) *Chroococcus*. l) y j) *Chlorella*.

Microscopia estereoscópica

Por el aumento del microscopio y la densidad de la muestra, las algas no se podían observar de manera tan clara, sin embargo, se detectó la presencia de algas filamentosas y algunas estructuras circulares, de las cuales se presentan a continuación el promedio de las mediciones tomadas

Tabla 7. Promedio de diámetros algas en muestra observada con microscopio estereoscópico

Algas redondas (diámetro)	Promedio (micrómetros)
Foto 1	5.122
Foto 2	3.9505
Foto 3	5.224
Foto 6	3.198
Foto 7	3.1995

Tabla 8. Promedio de longitud algas en muestra observada con microscopio estereoscópico.

Algas filamentosas (longitud)	Promedio (micrómetros)
Foto 1	47.92075
Foto 2	6.92225
Foto 3	8.07020833
Foto 4	8.75775
Foto 6	7.8158
Foto 7	8.2552

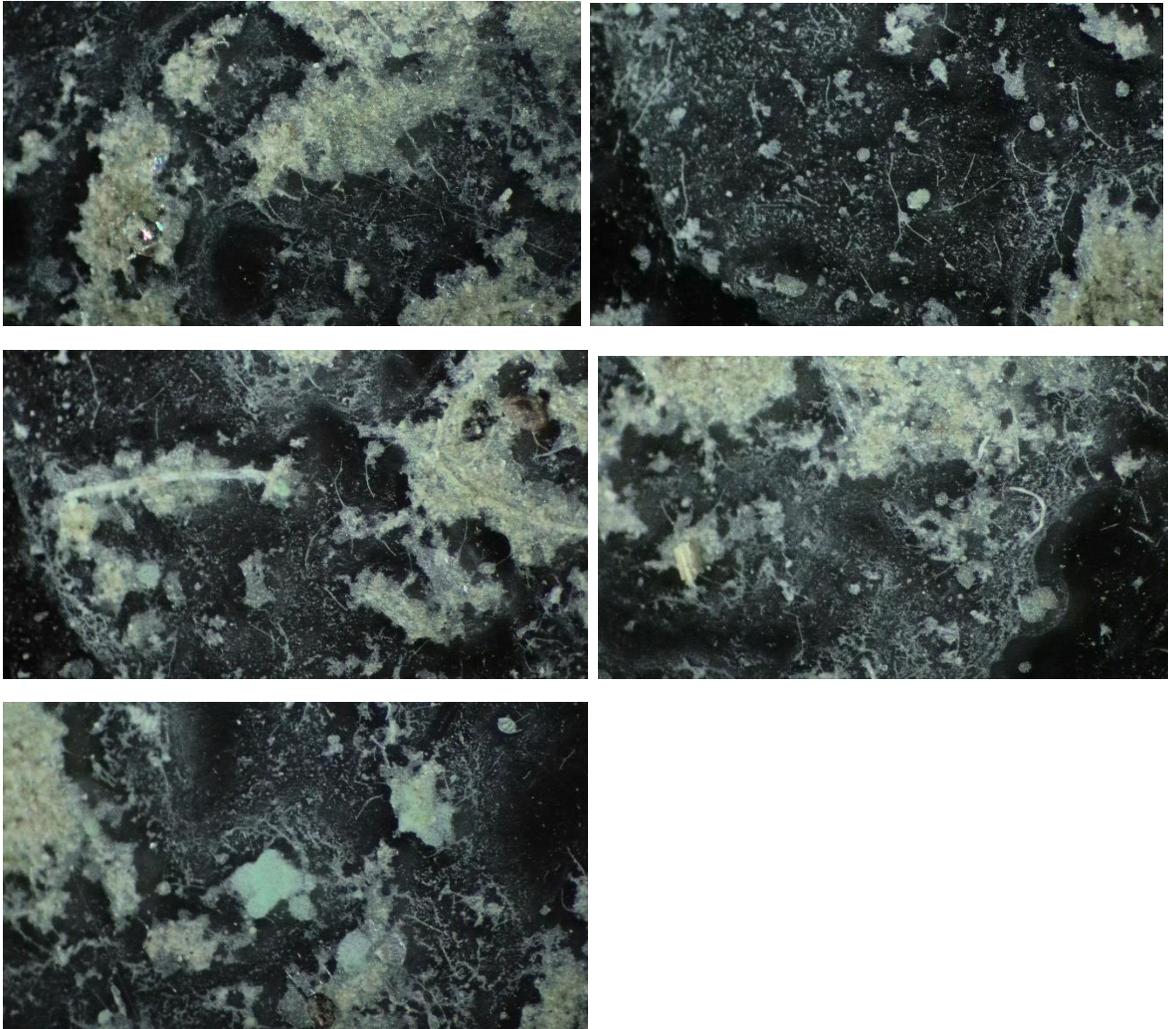


Fig. 6. Fotografías tomadas con cámara de microscopio estereoscópico de la muestra A4 fijada con Glutaraldehído

Microscopía electrónica de barrido

En las muestras fijadas con Glutaraldehído fue posible observar la morfología y estructura de algunas algas, principalmente diatomeas.

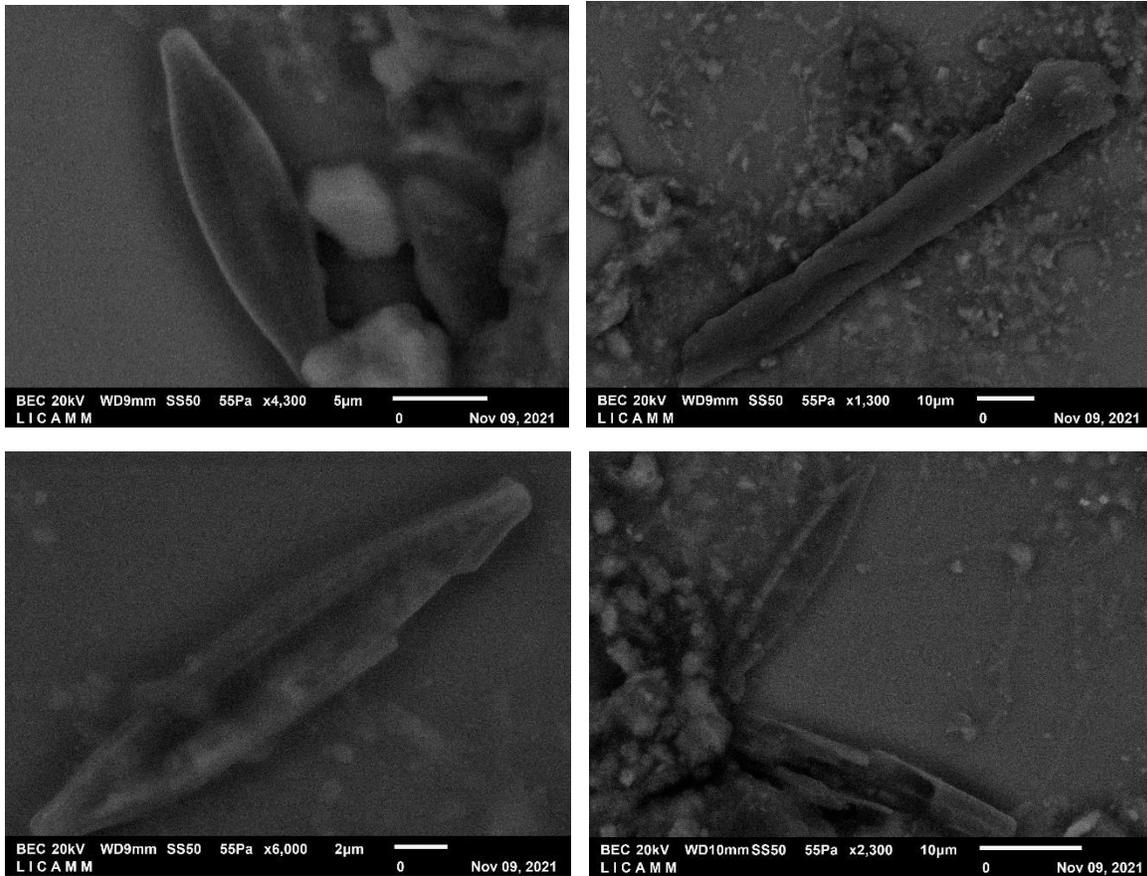
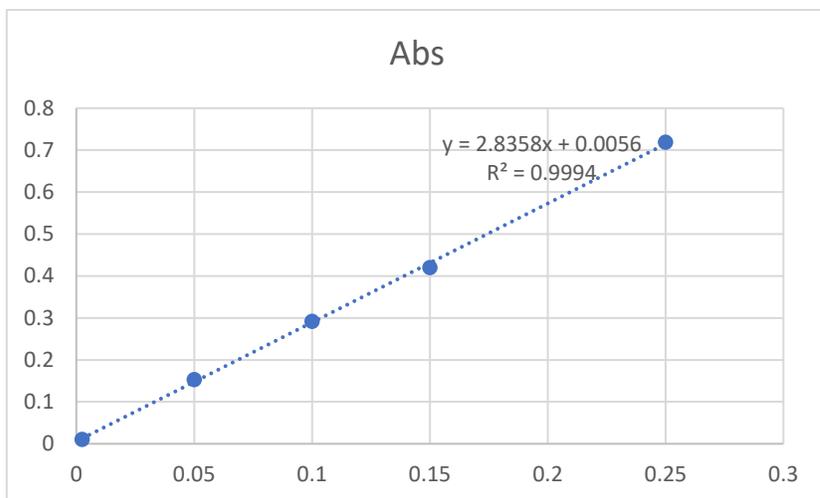


Fig. 7. Fotografías obtenidas con SEM

Determinación de clorofila

La concentración de clorofila a es una medida indirecta de la biomasa del fitoplancton. La clorofila- α es el principal pigmento fotosintético de todos los organismos fotosintéticos y está presente en todas algas y cianobacterias. La clorofila- α introduce cambios al agua limpia en sus características de reflectancia espectral, por ejemplo en su color. Lo diferentes tipos de fitoplancton tienen diferentes concentraciones de clorofila- α .



%	Abs
0.0025	0.011
0.05	0.153
0.1	0.292
0.15	0.42
0.25	0.719

Fig. Curva de calibración para la cuantificación de clorofila.

Tabla 9. Porcentaje de valores de muestras

Muestras	Abs	%
A0	0.064	0.18712
A2	0.122	0.35126
A3	0.311	0.88613
N2	0.181	0.51823
N3	0.147	0.42201
N4	0.207	0.59181
P4	0.19	0.5437
P9	0.045	0.13335

Discusión

Las algas se consideran muy buenos bioindicadores de la calidad del agua gracias a su rápida respuesta a los contaminantes, así también son organismos importantes para la purificación de cuerpos de agua, ya que absorben contaminantes orgánicos e inorgánicos, metales pesados y sustancias radiactivas (Alp et al.)

Esta capacidad de absorción es también un aspecto importante en temas como remediación y tratamiento de agua, mismos para los cuales en estudios anteriores se han propuesto el uso de microalgas para estos fines (Baghour, 2019; Marella et al., 2016, 2018; Tiwari and Marella, 2019). El tratamiento de agua basado en uso de algas, llamado ficoremediación, ha sido recomendado para eliminación de metales pesados, pesticidas y otros productos de desecho.

La presencia de las algas encontradas en la presa, en un agua con concentraciones elevadas de metales pesados nos indica que estos organismos tienen mecanismos para sobrevivir estas condiciones, y aunque aún se requiere una caracterización más exhaustiva, se puede decir que existe el potencial en este sitio.

Capítulo 5

Conclusiones

El agua de las masas de agua dulce de la Presa de la Purísima se utiliza esencialmente fines domésticos, industriales y agrícolas. El presente estudio ha revelado que la salud ambiental de la Presa no es satisfactoria.

Las algas que presentan una alta resistencia a estos medios contaminantes con alta concentración de mercurio y cadmio son las especies de algas de diatomeas y cianobacterias. La conservación y la gestión de estas masas de agua para aprovecharlas a largo plazo debe ser atendida desde la perspectiva de salud ambiental

El uso y la gestión sostenibles del agua para la subsistencia de las masas de agua en el área de estudio es de atención inmediata. Dentro de la zona de estudio. Se recomienda que en futuros estudios se realicen estudios moleculares de las algas junto con la filogenia de los géneros representativos. El uso de las algas para biocombustible, biorremediación, medicinal, la dieta humana de las algas y la flora de los peces debería estudiarse para las aplicaciones comerciales e industriales y sus ventajas para la humanidad

Referencias

- Adams, S. M., Ham, K. D., Greeley, M. S., LeHew, R. F., Hinton, D. E., & Saylor, C. F. (1996). Downstream gradients in bioindicator responses: point source contaminant effects on fish health. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53(10), 2177-2187.
- Aissaoui, A., Sadoudi-Ali Ahmed, D., Cherchar, N., & Gherib, A. (2017). Assessment and biomonitoring of aquatic pollution by heavy metals (Cd, Cr, Cu, Pb and Zn) in Hammam Grouz Dam of Mila (Algeria). *International Journal of Environmental Studies*, 74(3), 428-442.
- Alejandro Munoz-Najera, M., Barrera-Escorcía, G., Ramirez-Romero, P., Omar Tapia-Silva, F., & Rosas-Cedillo, R. (2018). Heavy metal bioaccumulation in *Oreochromis niloticus* from Tenango Dam, Puebla, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6670-y>
- Anze, R., Franken, M., Zaballa, M., Pinto, M., & Zeballos, G. (2007). Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. In: Revista virtual REDESMA.
- Atici, T., Ahiska, S., Altindag, A., & Aydin, D. (2008). Ecological effects of some heavy metals (Cd, Pb, Hg, Cr) pollution of phytoplanktonic algae and zooplanktonic organisms in Sarýyar Dam Reservoir in Turkey. In (Vol. 7): African Journal of Biotechnology.
- Barima, Y. S., Angaman, D. M., N'gouran, K. P., Koffi, N. A., Kardel, F., De Cannière, C., & Samson, R. (2014). Assessing atmospheric particulate matter distribution based on Saturation Isothermal Remanent Magnetization of herbaceous and tree leaves in a tropical urban environment. *Sci Total Environ*, 470-471, 975-982. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.082>
- Bellinger, E. G., & Sigee, D. C. (2013). Freshwater algae: Identification and Use as bioindicators. In.
- Bianchi, F., Acri, F., Bernardi, F., Berton, A., & Boldrin, A. (2003). Can plankton communities be considered as bio-indicators of water quality in the Lagoon of Venice? In (Vol. 46): Marine Pollution Bulletin.
- Bonanno, G., Veneziano, V., & Piccione, V. (2020). The alga *Ulva lactuca* (Ulvaceae, Chlorophyta) as a bioindicator of trace element contamination along the coast of Sicily, Italy. *Science of The Total Environment*, 699, 134329. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134329>
- Cano, I., Gómez, F., Ramírez, V., Martínez, P., Rodríguez, E., & Aguilera, A. (2000). Determinación de contaminantes en la presa La Purísima y su efecto en el sistema de pozos Puentecillas de Guanajuato. In.
- Ceschin, S., Zuccarello, V., & Caneva, G. (2010). Role of macrophyte communities as bioindicators of water quality : Application on the Tiber River basin (Italy). In (Vol. 143, pp. 528-536). Plant biosystems.
- Charqueno-Celis, N. F., Garibay, M., Sigala, I., Brenner, M., Echeverria-Galindo, P., Lozano-Garcia, S., . . . Perez, L. (2020). Testate amoebae (Amoebozoa: Arcellinidae) as indicators of dissolved oxygen concentration and water depth in lakes of the Lacandon Forest, southern Mexico [Article]. *Journal of Limnology*, 79(1), 82-91. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2019.1936>
- Chikodzi, D., Mabhegedhhe, M., & Kudakwashe, T. (2017). Biomonitoring of Muccheke and Shagashe rivers in Masvingo, Zimbabwe Using Macro-invertebrates as indicators of water quality. In (Vol. 5): Journal of Geoscience and Environment protection.
- Consuelo, M. A.-B. a. G. G.-S. a. K. A. K. a. K. R. M. a. R. A. C. a. D. K.-A. a. G. L.-R. a. (2016). Fishes as indicators of untreated sewage contamination in a Mexican coastal lagoon. *Marine Pollution Bulletin*, 113. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.073>

- Dokulil, M. T. (2003). Algae as ecological bio-indicators. In A. M. B. B.A. Markert, H.G. Zechmeister (Ed.), *Bioindicators and biomonitors*.
- Francisco, N. M.-S. a. M. A. R.-S. a. R. G. a. L. M. F.-M. (2019). Parasites of fish *Poecilia velifera* and their potential as bioindicators of wetland restoration progress. *Helgoland Marine Research*, 73. <https://doi.org/10.1186/s10152-019-0522-1>
- Galán, C., Alcázar, P., Oteros, J., García-Mozo, H., Aira, M. J., Belmonte, J., . . . Domínguez-Vilches, E. (2016). Airborne pollen trends in the Iberian Peninsula. *Sci Total Environ*, 550, 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.069>
- García, M., & Zanor, G. (2017). Evaluación de la contaminación por elementos traza en sedimentos de la presa La Purísima. In (Vol. 2): Jóvenes en la ciencia.
- Gerhardt, A. (2002). Bioindicator species and their use in biomonitoring. *Environmental monitoring*, 1, 77-123.
- González, C., Vallarino, A., Pérez, J., & Low, A. (2014). *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*. Colegio de la Frontera Sur.
- Gutiérrez-Fonseca, P. E., & Lorion, C. M. (2014). Application of the BMWP-Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: sensitivity to collection method and sampling intensity. *Revista de Biología Tropical*, 62, 275-289.
- Heink, U., & Kowarik, I. (2009). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. In (pp. 584-593): Ecological indicators.
- Hinojosa-Garro, D., Rendón-von Osten, J., & Dzul-Caamal, R. (2020). Banded tetra (*Astyanax aeneus*) as bioindicator of trace metals in aquatic ecosystems of the Yucatan Peninsula, Mexico: Experimental biomarkers validation and wild populations biomonitoring. *Ecotoxicology and environmental safety*, 195, 110477.
- Itzel Sigala and Socorro Lozano-García and Jaime Escobar and Liseth Pérez and Elvia, G.-N. (2016). Testate Amoebae (Amebozoa: Arcellinida) in Tropical Lakes of Central Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 64. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i1.18004>
- Kardel, F., Wuyts, K., De Wael, K., & Samson, R. (2018). Biomonitoring of atmospheric particulate pollution via chemical composition and magnetic properties of roadside tree leaves. *Environ Sci Pollut Res Int*, 25(26), 25994-26004. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2592-z>
- Khalil, S., Mahnashi, M., Hussain, M., Zafar, N., Un-Nisa, W., Sher Khan, F., . . . Mujtaba, G. (2021). Exploration and determination of algal role as bioindicator to evaluate water quality - Probing fresh water algae. In (pp. 5728-5737): Saudi Journal of Biological Sciences.
- Lavoie, I., Vincent, W., Pienitz, R., & Painchaud, J. (2004). Benthic algae as bioindicators of agricultural pollution in the streams and rivers of southern Québec (Canada). In (Vol. 7, pp. 43-58): Aquatic Ecosystem Health & Management.
- Lazorchak, J., Hill, B., Brown, B., McCormick, F., Engle, V., Lattier, D., . . . Toth, G. (2002). USEPA biomonitoring and bioindicator concepts needed to evaluate the biological integrity of aquatic systems. In.
- Limón, O. S. L. a. S. L. J. a. N. E. G. a. P. J. A. R. a. H. P. (2016). Ecogenotoxic study of the Lagoon of Illusions, Tabasco using devil fish as a bioindicator. *Toxicology Letters*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2016.07.253>
- Liver histological changes and lipid peroxidation in the amphibian *Ambystoma mexicanum* induced by sediment elutriates from the Lake Xochimilco. (2016). *Journal of Environmental Sciences*, 46, 156 - 164. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.06.020>

- Martinez-Tabche, L., Solis, M. R., Lopez, E. L., & Martinez, M. G. (1999). Toxic effect of DDT, chlordane and water from the Ignacio Ramirez dam (Mexico) on *Daphnia magna* (Crustacea : Daphnidae). *Revista De Biología Tropical*, 47(4), 681-690.
- Medina, M., Rivera, R., Wruck, S., Gómez, G., & Cortés, T. (2007). Conservación y manejo participativo en microcuencas de la subcuenca La Purísima. In: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Metcalfe, J. (1989). Biological water quality assesment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in europe. In (pp. 101-139): Environmental pollution.
- Metting, F. (1996). Biodiversity and application of microalgae. In (Vol. 17, pp. 477-489): Journal of Industrial Microbiology.
- Nandini, S., Ramirez Garcia, P., & Sarma, S. S. S. (2016). Water quality indicators in Lake Xochimilco, Mexico: zooplankton and *Vibrio cholerae*. *Journal of Limnology*, 75(1), 91-100. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2015.1213>
- Pawlik-Skowronska, B. (2001). Phytochelatin production in freshwater algae *Stigeoclonium* in response to heavy metals contained in mining water; effects of some environmental factors. In (pp. 41-249): Aquatic Toxicology.
- Pinto, E., Sigau-kutner, T., Leitao, M., Okamoto, O., Morse, D., & Colepico, P. (2003). HEAVY METAL-INDUCED OXIDATIVE STRESS IN ALGAE. In (Vol. 39, pp. 1008-1018). Wiley Online Library: Journal of Phycology.
- Rimet, F. (2011). Recent views on river pollution and diatoms. In (pp. 1-24): Hydrobiologia.
- Rivera, & G. (2011). Evaluación de la contaminación de la presa La Purísima mediante análisis de metales, hidrocarburos y plaguicidas en muestras de agua, sedimento y a través del uso de biomarcadores en peces. In México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Rizwan, M., Mujtaba, G., Memon, S., Lee, K., & Rashid, N. (2018). Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: A review. In (Vol. 92, pp. 94-404): Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Rocha, A. D. N., Candido, L. S., Pereira, J. G., Silva, C. A. M., da Silva, S. V., & Mussury, R. M. (2018). Evaluation of vehicular pollution using the TRAD-MCN mutagenic bioassay with *Tradescantia pallida* (Commelinaceae). *Environ Pollut*, 240, 440-447. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.091>
- Sigala, I., Caballero, M., Correa-Metrio, A., Lozano-Garcia, S., Vazquez, G., Perez, L., & Zawisza, E. (2017). Basic limnology of 30 continental waterbodies of the Transmexican Volcanic Belt across climatic and environmental gradients [Article]. *Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana*, 69(2), 313-370.
- Solis, K. (2018). Geoquímica de sedimentos de la presa La Purísima (Guanajuato). In: Universidad de Guanajuato. Territorial, S. d. M. a. y. O. *Presa La Purísima y su zona de influencia*.
- van Straalen, N. M. (1998). Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied soil ecology*, 9(1-3), 429-437.
- Velázquez, P., Márquez, M., & Alejo, F. (2016). Estudio microbiológico de dos cuerpos de agua del estado de Guanajuato "La Presa La Purísima" y "Laguna de Yuriria". In (Vol. 2). México: Jóvenes en la ciencia.
- Wan Jusoh, N. A., Chai, M. K., Wong, L. S., Ong, G. H., & Voon, B. W. N. (2020). Bioindication of heavy metals in aquatic environment using photosynthetic pigments in cyanobacteria. *South*

- African Journal of Chemical Engineering*, 34, 78-81.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.05.011>
- Wannaz, E. D., Carreras, H. A., Pérez, C. A., & Pignata, M. L. (2006). Assessment of heavy metal accumulation in two species of Tillandsia in relation to atmospheric emission sources in Argentina. *Sci Total Environ*, 361(1-3), 267-278.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.11.005>
- Wepener, V. (2013). Active biomonitoring. *Encyclopedia of Aquatic Ecotoxicology*, 15-20.

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0,20
Arsénico (Nota 2)	0,05
Bario	0,70
Cadmio	0,005
Cianuros (como CN ⁻)	0,07
Cloro residual libre	0,2-1,50
Cloruros (como Cl ⁻)	250,00
Cobre	2,00
Cromo total	0,05
Dureza total (como CaCO ₃)	500,00
Fenoles o compuestos fenólicos	0,3
Fierro	0,30
Fluoruros (como F ⁻)	1,50
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l:	
Benceno	10,00
Etilbenceno	300,00
Tolueno	700,00
Xileno (tres isómeros)	500,00
Manganeso	0,15
Mercurio	0,001
Nitratos (como N)	10,00
Nitritos (como N)	1,00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6,5-8,5
Plaguicidas en microgramos/l:	
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0,03
Clordano (total de isómeros)	0,20
DDT (total de isómeros)	1,00
Gamma-HCH (lindano)	2,00
Hexaclorobenceno	1,00
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0,03
Metoxicloro	20,00
2,4 D	30,00
Plomo	0,01
Sodio	200,00
Sólidos disueltos totales	1000,00
Sulfatos (como SO ₄ ⁼)	400,00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Trihalometanos totales	0,20
Yodo residual libre	0,2-0,5
Zinc	5,00

Tabla A. Relación de trabajos de interés sobre bioindicadores en cuerpos de agua en México.

Ref	Trabajo	Cuerpo de agua	Tipo de bioindicadores	Resultados	Metodología
(Martinez-Tabche et al., 1999)	Toxic effect of DDT, chlordane, and water from the Ignacio Ramirez dam (Mexico) on <i>Daphnia magna</i> (Crustacea: Daphnidae)	Presa	Gusanos	Los CL50 se utilizaron como bioindicadores para determinar los sitios más contaminados. La estación cercana a la compuerta tiene potencial de toxicidad debido a que se modificaron las actividades enzimáticas.	Evaluación del efecto tóxico del DDT y CLO sobre las actividades o-desmetilasa (OD) y acetilcolinesterasa (AchA) del cladócerano <i>Daphnia magna</i> expuesto a diferentes concentraciones de los insecticidas, mediante características fisicoquímicas y biodiversidad.
(Alejandro Muñoz-Najera et al., 2018)	Heavy metal bioaccumulation in <i>Oreochromis niloticus</i> from Tenango Dam, Puebla, Mexico	Presa	<i>Oreochromis niloticus</i> (peces)	Los parámetros fisicoquímicos del agua se consideraron aceptables, pero no adecuados para uso urbano, así como los pescados no fueron aptos para consumo humano por altos niveles de metales que pueden	Evaluación de parámetros fisicoquímicos, concentración de metales, niveles de metalotioneína en hígado y tejidos musculares.

				bioacumulars e. Es el primer estudio que describe la presencia de metales en esa presa.	
(Nandini et al., 2016)	Water quality indicator in Lake Xochimilco, Mexico: zooplankton and <i>Vibrio cholerae</i>	Lago	Diversidad de zooplankton , bacterias	Los sitios analizados del lago resultaron ser mesosapróbicos. Esos sitios son eutróficos y están altamente contaminados . Se requiere mejorar la calidad del agua.	Se tomaron muestras de agua de dos sitios del Lago una vez al mes por ocho meses. Se identificaron los rotíferos, cladóceros y copépodos. Se midieron parámetros fisicoquímicos (entre ellos la profundidad de Secchi), concentración bacterianas y se utilizaron índices sapróbicos.
(Itzel Sigala and Socorro Lozano-García and Jaime Escobar and Liseth Pérez and Elvia, 2016)	Testate Amoebae (Amebozoa: Arcellinida) in Tropical Lakes of Central Mexico	Lagos	Amebas	Se encontraron 41 taxones de amebas testadas que pertenecen a 11 géneros distintos. Se registraron doce especies no reportadas previamente en México, junto con 13	Se recolectaron muestras de sedimentos superficiales de 29 lagos que pertenecen al Cinturón Volcánico Transmexicano o en tres meses y dos años distintos. Se analizaron

				variedades. Esta variedad exhorta el estudio individual y detallado de las condiciones de los lagos muestreados.	submuestras con microscopio óptico y electrónico de barrido para obtener datos morfométricos para estudios ecológicos y paleoambientales.
("Liver histological changes and lipid peroxidation in the amphibian Ambystoma mexicanum induced by sediment elutriates from the Lake Xochimilco," 2016)	Liver histological changes and lipid peroxidation in the amphibian Ambystoma mexicanum induced by sediment elutriates from the Lake Xochimilco	Lago	Ambystoma mexicanum	Se mostraron concentraciones de metales altas, vasodilatación hepática de sinusoides, capilares con eritrocitos, infiltración de leucocitos y vacuolación citoplasmática en hepatocitos.	Se realizaron bioensayos de exposición a elutriados sedimentarios y se evaluaron las alteraciones posibles a nivel bioquímico (como nivel de peroxidación lipídica), celular e histología hepática, así como la evaluación de metales pesados como Pb, Cd y Hg. Con ello se determina cuantitativamente la presencia de dichos metales.
(Sigala et al., 2017)	Basic limnology of 30 continental	Lago	Fitoplancton y diatomeas de sedimentos	El análisis de componentes principales mostró que la	Se utilizaron métodos estandarizados, analizando

waterbodies of the Transmexican Volcanic Belt across climatic and environmental gradients

superficiales, amebas testadas, cladoceros y ostrácodos

temperatura y la precipitación eran los principales gradientes ambientales relacionados con las características limnológicas de los lagos. Los climas más fríos estaban relacionados con el menor TDS; climas secos con lagos subsalinos e hiposalinos, y climas cálido-húmedo con lagos eutróficos e hipertróficos.

distintos cuerpos de aguas con diferentes características geológicas y fisicoquímicas, como profundidad, iones, pH, nutrientes y especies presentes. Se usó la técnica de Procrustes y Análisis de Componentes Principales (PCA). La cual es una técnica utilizada para describir un conjunto de datos en términos de nuevas variables («componentes») no correlacionadas.

(Charqueño-Celis et al., 2020)

Testate amoebae (Amoebozoa: Arcellinidae) as indicators of dissolved oxygen concentration and water depth in lakes of the Lacandon Forest, southern Mexico

Lago

Amebas testadas (Amoebozoa: Arcellinidae)

Se identificaron dos tipos de conjuntos de especies, distinguidos por sus requisitos de concentración de oxígeno. El Ensamblaje 1 era más diverso y poseía especies que son

Se recolectaron 17 muestras de sedimentos superficiales de una variedad de profundidades de agua en seis lagos de la Reserva de la Biosfera Nahá-Metzabok, al noreste del estado de

intolerantes a Chiapas. Se bajas realizaron concentraciones de estudios taxonómicos de oxígeno, para relacionar el oxígeno disuelto con la profundidad del agua. Se utilizó el índice de Shannon.

2 poseía especies oportunistas, más raras, que toleran condiciones estresantes.

(Limón, 2016)

Ecogenotoxic study of the Lagoon of Illusions, Tabasco using devil fish as a bioindicator

Laguna Pez diablo

El pH de las muestras fue muy alcalino, la DO resultó por encima del límite de referencia establecido para la protección de la vida acuática y la DQO indicó la contaminación de la laguna. Los parámetros morfométricos y la frecuencia de MN no se correlacionaron. La laguna fue considerada como una fuente potencial de genotoxicidad. Hay riesgo presente

Se realizaron dos muestreos en el 2013 y 2014. Se analizó la morfología de los organismos, así como varios parámetros fisicoquímicos (entre ellos TDS) utilizando un instrumento multiparamétrico. Se evaluó la frecuencia de micronúcleos (MN) en eritrocitos de los peces como indicadores de genotoxicidad.

tanto para la biota como para los humanos. El pez diablo puede usarse como biomonitor para evaluar la genotoxicidad de contaminantes en el agua.

(Francisco, 2019)	Parasites of fish <i>Peocilia velifera</i> and their potential as bioindicators of wetland restoration progress	Laguna	Macroparásitos del pez vela molly (<i>Poecilia velífera</i>)	Se encontraron seis especies de parásitos. No hubo diferencias significativas en la estructura de las infracomunidades parasitarias entre los sitios degradados y conservador, pero sí en el de restauración mostrando unas más pobres y pequeñas de crustáceos y trematodos indicando que el proceso de restauración no ha mejorado las condiciones ecológicas.	Se realizó el biomonitoreo de macroparásitos del pez <i>Peocilia velífera</i> de tres sitios conservador, degradados y en restauración, examinándose 198 peces.
-------------------	---	--------	--	--	---

No se obtuvo información útil para dar un diagnóstico sobre la salud del ecosistema. El estudio representa un nuevo registro de hospedadores para la mayoría de las especies de parásitos encontradas.

(Consuelo, 2016)	Fishes as indicators of untreated sewage contamination in a Mexican coastal lagoon	Laguna Costera	Peces: Sciades guatemalensis, Diapterus brevirostris, Achirus mazatlanus y Mugil curema	Tres especies de sitios fuertemente impactados mostraron valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ mayores que los sitios no impactados. También, en sitios más impactados, se observaron concentraciones más altas de THg excediendo el umbral de 0.2 $\mu\text{g/g}$ de peso corporal que se establece para los peces adultos y jóvenes.	Se analizaron cuatro especies de peces para comparar isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) mediante la espectrometría de masas de relación isotópica de Finnigan MAT Delta Plus, mercurio total (THg) y otros metales. Las especies fueron tomadas de distintos sitios con diferentes niveles de
------------------	--	----------------	---	---	---

Se sugiere descargas de
que los aguas
isótopos y la residuales sin
THg pueden tratar.
distinguir los
sitios
impactados
por aguas
residuales y
servir como
guía para
estudios en el
futuro.



Campus Guanajuato | División de Ingenierías

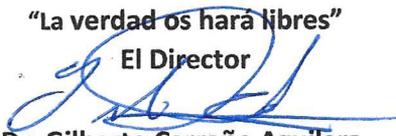
Guanajuato, Gto, a 03 de noviembre de 2021.

Asunto: autorización de Modalidad de Trabajo de Tesis

CARLA GEORGINA ARROYO ALBA
NUA 192433
Presente

En respuesta a su petición presentada ante esta dirección de la División de Ingenierías del Campus Gto, de la Universidad de Guanajuato, mediante la cual solicita la autorización de titulación bajo la **Modalidad de Trabajo de Tesis**; al respecto le informo que se autoriza la modalidad con el *Tema de Tesis*: **“EXPLORACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PAPEL DE LAS ALGAS COMO BIOINDICADOR PARA EVALUAR LA SALUD AMBIENTAL DE LA PRESA LA PURÍSIMA”**, para obtener el Grado de Ingeniera Ambiental, asimismo hago de su conocimiento que se ha designado como **Directora de trabajo a la Dra. Alma Hortensia Serafín Muñoz** y como **Co-directora a la Dra. Berenice Noriega Luna**, quienes supervisarán y revisarán el alcance del trabajo de tesis.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

Atentamente,
“La verdad os hará libres”
El Director

Dr. Gilberto Carreño Aguilera.


Universidad de Guanajuato
División de Ingenierías
Campus Guanajuato
DIRECCIÓN

C.c.p.digital. Directora y Co-directora de Trabajo. Para su conocimiento y seguimiento correspondiente.
.-DR. GCA/LASR



Universidad
de Guanajuato

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
DIVISION DE INGENIERIAS CAMPUS GUANAJUATO

Asunto: revisión de tesis de licenciatura
del PE de Ingeniería Ambiental.

Guanajuato, Gto., a 26 de noviembre de 2021

DR. GILBERTO CARREÑO AGUILERA
Director del Consejo Divisional
División de Ingenierías del Campus Guanajuato
Universidad de Guanajuato

P R E S E N T E

Por medio de la presente hago constar que he revisado la tesis titulada: ***“Exploración y determinación del papel de las algas como bioindicador para evaluar la Salud Ambiental de la Presa La Purísima”***, del estudiante C. **Carla Georgina Arroyo Alba** del PE de Ingeniería Ambiental de la División de Ingenierías del Campus Guanajuato, después revisar el documento, declaró, en mi carácter de DIRECTOR de Tesis, que el estudiante ha atendido todas mis observaciones, por lo que OTORGO EL **VOTO APROBATORIO**. Con ello para que el estudiante realice los trámites correspondientes para su examen de grado

Sin otro particular por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“LA VERDAD OS HARÁ LIBRES”

Dra. Alma Hortensia Serafin Muñoz
Profesor Investigador de Tiempo Completo
Departamento de Ingenierías Civil y Ambiental
División de Ingenierías Campus Guanajuato
Universidad de Guanajuato

c.c.p. Archivo



Universidad
de Guanajuato

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
DIVISION DE INGENIERIAS CAMPUS GUANAJUATO

Asunto: revisión de tesis de licenciatura
del PE de Ingeniería Ambiental.

Guanajuato, Gto., a 26 de noviembre de 2021

DR. GILBERTO CARREÑO AGUILERA
Director del Consejo Divisional
División de Ingenierías del Campus Guanajuato
Universidad de Guanajuato

P R E S E N T E

Por medio de la presente hago constar que he revisado la tesis titulada: ***“Exploración y determinación del papel de las algas como bioindicador para evaluar la Salud Ambiental de la Presa La Purísima”***, del estudiante C. **Carla Georgina Arroyo Alba** del PE de Ingeniería Ambiental de la División de Ingenierías del Campus Guanajuato, después revisar el documento, declaró que el estudiante ha atendido todas mis observaciones, por lo que OTORGO EL **VOTO APROBATORIO**. Con ello para que el estudiante realice los trámites correspondientes para su examen de grado

Sin otro particular por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

M.C. Ulises Emiliano
Rodríguez Castrejón
“LA VERDAD OS HARA LIBRES”

Departamento de Ingenierías Civil y Ambiental
División de Ingenierías Campus Guanajuato Universidad de Guanajuato

c.c.p. Archivo



Universidad
de Guanajuato

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
DIVISION DE INGENIERIAS CAMPUS GUANAJUATO

Asunto: revisión de tesis de licenciatura
del PE de Ingeniería Ambiental.

Guanajuato, Gto., a 26 de noviembre de 2021

DR. GILBERTO CARREÑO AGUILERA
Director del Consejo Divisional
División de Ingenierías del Campus Guanajuato
Universidad de Guanajuato

P R E S E N T E

Por medio de la presente hago constar que he revisado la tesis titulada: ***“Exploración y determinación del papel de las algas como bioindicador para evaluar la Salud Ambiental de la Presa La Purísima”***, del estudiante C. **Carla Georgina Arroyo Alba** del PE de Ingeniería Ambiental de la División de Ingenierías del Campus Guanajuato, después revisar el documento, declaró que el estudiante ha atendido todas mis observaciones, por lo que OTORGO EL **VOTO APROBATORIO**. Con ello para que el estudiante realice los trámites correspondientes para su examen de grado

Sin otro particular por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“LA VERDAD OS HARA LIBRES”

Ma. Guadalupe Medina H.

Departamento de Ingenierías Civil y Ambiental
División de Ingenierías Campus Guanajuato Universidad de Guanajuato

c.c.p. Archivo



Universidad
de Guanajuato

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
DIVISION DE INGENIERIAS CAMPUS GUANAJUATO

Asunto: revisión de tesis de licenciatura
del PE de Ingeniería Ambiental.

Guanajuato, Gto., a 26 de noviembre de 2021

DR. GILBERTO CARREÑO AGUILERA
Director del Consejo Divisional
División de Ingenierías del Campus Guanajuato
Universidad de Guanajuato

P R E S E N T E

Por medio de la presente hago constar que he revisado la tesis titulada: ***“Exploración y determinación del papel de las algas como bioindicador para evaluar la Salud Ambiental de la Presa La Purísima”***, del estudiante C. **Carla Georgina Arroyo Alba** del PE de Ingeniería Ambiental de la División de Ingenierías del Campus Guanajuato, después revisar el documento, declaró que el estudiante ha atendido todas mis observaciones, por lo que OTORGO EL **VOTO APROBATORIO**. Con ello para que el estudiante realice los trámites correspondientes para su examen de grado

Sin otro particular por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“LA VERDAD OS HARA LIBRES”

Dra. Berenice Noriega Luna

Departamento de Ingenierías Civil y Ambiental
División de Ingenierías Campus Guanajuato Universidad de Guanajuato

c.c.p. Archivo



Campus Guanajuato | División de Ingenierías

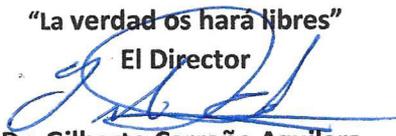
Guanajuato, Gto, a 03 de noviembre de 2021.

Asunto: autorización de Modalidad de Trabajo de Tesis

CARLA GEORGINA ARROYO ALBA
NUA 192433
Presente

En respuesta a su petición presentada ante esta dirección de la División de Ingenierías del Campus Gto, de la Universidad de Guanajuato, mediante la cual solicita la autorización de titulación bajo la **Modalidad de Trabajo de Tesis**; al respecto le informo que se autoriza la modalidad con el *Tema de Tesis*: **“EXPLORACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PAPEL DE LAS ALGAS COMO BIOINDICADOR PARA EVALUAR LA SALUD AMBIENTAL DE LA PRESA LA PURÍSIMA”**, para obtener el Grado de Ingeniera Ambiental, asimismo hago de su conocimiento que se ha designado como **Directora de trabajo a la Dra. Alma Hortensia Serafín Muñoz** y como **Co-directora a la Dra. Berenice Noriega Luna**, quienes supervisarán y revisarán el alcance del trabajo de tesis.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

Atentamente,
“La verdad os hará libres”
El Director

Dr. Gilberto Carreño Aguilera.


Universidad de Guanajuato
División de Ingenierías
Campus Guanajuato
DIRECCIÓN

C.c.p.digital. Directora y Co-directora de Trabajo. Para su conocimiento y seguimiento correspondiente.
.-DR. GCA/LASR



Universidad
de Guanajuato

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
DIVISION DE INGENIERIAS CAMPUS GUANAJUATO

Asunto: revisión de tesis de licenciatura
del PE de Ingeniería Ambiental.

Guanajuato, Gto., a 26 de noviembre de 2021

DR. GILBERTO CARREÑO AGUILERA
Director del Consejo Divisional
División de Ingenierías del Campus Guanajuato
Universidad de Guanajuato

P R E S E N T E

Por medio de la presente hago constar que he revisado la tesis titulada: ***“Exploración y determinación del papel de las algas como bioindicador para evaluar la Salud Ambiental de la Presa La Purísima”***, del estudiante C. **Carla Georgina Arroyo Alba** del PE de Ingeniería Ambiental de la División de Ingenierías del Campus Guanajuato, después revisar el documento, declaró, en mi carácter de DIRECTOR de Tesis, que el estudiante ha atendido todas mis observaciones, por lo que OTORGO EL **VOTO APROBATORIO**. Con ello para que el estudiante realice los trámites correspondientes para su examen de grado

Sin otro particular por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“LA VERDAD OS HARA LIBRES”

M.C. Aurelio Álvarez Vargas
Departamento de Biología
División de Ciencias Naturales y Exactas del Campus Guanajuato
Universidad de Guanajuato

c.c.p. Archivo