



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

---

---

**“PRESENCIA DE DIATOMEAS Y SU RELACIÓN CON ASPECTOS FISICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS, COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUA EN TRES ZONAS DEL RÍO AMACUZAC, MORELOS, MÉXICO.”**

**T E S I S**

**Que para obtener el título de**

**BIÓLOGO**

**P R E S E N T A**

**Ricardo Abraham Gutiérrez Ochoa**

**Director**

**Dr. Pedro Ramírez García**

**Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla de Baz, Edo. de México, 2018.**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

*En cada fracaso hay una victoria. . .*  
*Por cada día de pena hay un día de gloria.*

*O. R.*

## Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Proyecto PAPIIT IN216315 por el apoyo para la realización de este proyecto.

Al laboratorio de Microbiología del proyecto CyMA dentro de la UIICSE, en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Por el apoyo brindado para la realización del proyecto de investigación, proporcionar los materiales necesarios y el lugar donde se pudo llevar a cabo la experimentación y el escrito.

Dr. Pedro Ramírez García  
Dr. Diego de Jesús Chaparro Herrera

A los Sinodales elegidos y asignados para el Examen Profesional de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM por la formación y correcciones durante el proceso.

Dra. Nandini Sarma  
Biol. María de los Ángeles García Gómez  
Biol. María Dolores Hurtado Bocanegra

En memoria...

Este trabajo está dedicado a ti, que me diste la vida, mi consejera, quien me apoyó en cada una de mis decisiones, la persona que siempre tenía las palabras adecuadas para reconfortarme, te agradezco infinitamente todo lo que hiciste por mí en tantos años, por siempre impulsarme hacia adelante por más difíciles que fueran las situaciones, sin duda eres la primera persona que creyó en mí, en que yo algún día pudiera tener un título.

Recuerdo con mucho cariño todas las anécdotas que vivimos, los viajes, las comidas (sobre todo las enchiladas, eran deliciosas) recuerdo cuando platicábamos de historia, de biología, incluso de deportes, y por qué no los tequilas que alguna vez nos tomamos. Nunca olvidaré las 2 frases que con frecuencia repetías y que marcaron mi vida; la primera siempre tratando de que me diera cuenta del potencial que tenía y que no debía menospreciar nunca mi trabajo **“Cuando tú te des cuenta de lo que eres, el cielo será el límite para ti”**; la segunda **“Gracias... porque tengo tan pocas cosas que pedir y tantas que agradecer”**, la cual me enseñó que a pesar de los problemas y las enfermedades, siempre te mostraste sencilla y agradecida por la vida que te tocó.

Alguna vez te lo dije, pero quiero que quede plasmado en estas hojas, en este proyecto: Eres mi heroína y mi ejemplo a seguir, todo lo que soy y seré es gracias a ti, no me alcanzo el tiempo para entregarte este trabajo, pero cumplo la promesa que te hice y por fin lo terminé, te quiero, te amo y todos mis triunfos te los dedico siempre a ti, y espero que estés donde estés, te sientas orgullosa de mi, Mamá.

Sonia Francisca Ochoa Delgado.

## Agradecimientos personales

La familia es una comunidad con base afectiva, de indiscutible formación en el individuo y de gran importancia social, y es gracias a la familia que podemos alcanzar nuestras metas, es por esto que quiero agradecer:

A mi padre Raúl por todo el apoyo que me ha brindado siempre, por los consejos, por las sabias palabras. Mucha personas dice que me parezco a él, yo no estoy seguro de eso, pero espero algún día ser aunque sea la mitad de la gran persona que él es, te quiero, te respeto y te admiro. Gracias por acompañarme en este capítulo de mi vida.

A mi hermana Isamar, te agradezco todo, tus regaños, tus palabrotas, tus consejos y sacrificios, porque en ocasiones dejas todo de lado para que logre cumplir mis sueños, así como lo hiciste cuando tuve que asistir al congreso, lo logre gracias a ti y a pesar de las dificultades y problemas que hemos tenido siempre voy a estar ahí para ti te quiero mucho.

A mi abuela Antonia delgado quien siempre ha cuidado de mi desde que era un niño hasta la fecha, no hay comida más rica que la que prepara, su casa siempre fue mi refugio durante las vacaciones, agradezco sus sabios consejos que me han llevado hasta donde estoy.

A toda la familia Gutiérrez, en especial a mis tías Marisol y Jacqueline a mis tíos Gilberto y Leonardo, por preocuparse por mi bienestar aun que no era su responsabilidad; A la familia Jiménez en especial a mis tíos Araceli y Antonio, a la señora Angélica Alvarado pues a pesar de los regaños es una gran persona y me ha apoyado en los momentos más difíciles de mi vida. Parte de la persona en la que me he convertido es gracias a ustedes.

Dicen que los amigos son la familia que elegimos, y creo que en ese aspecto he tomado las mejores decisiones.

En primera instancia quiero agradecer y dedicarle este escrito a mis amigos de la infancia; Emanuel Urbina, los hermanos David y Gustavo, a Gustavo

Nava y a Edmundo, por acompañarme en este camino por más de una década, siempre voy a recordar con mucho cariño las tardes de fútbol y retas de Playstation en casa de David. Y aunque ahora no nos frecuentamos mucho siguen estando al pendiente de mí y me han ayudado en muchas ocasiones.

También quiero agradecer a quien a lo largo de la carrera y sin pensarlo se convirtieron en las personas a las que hoy puedo llamar Amigos, con quienes compartí los mejores momentos durante tantos años y que aun ahora seguimos siendo esa gran familia y escribiendo esta historia. A Enrique Millán, quien a pesar de ser enemigo de las redes sociales e imposible de localizar, tiene los mejores gustos musicales, no olvido las tardes donde escuchábamos a The Beatles o Gustavo Cerati y soda stereo; A Luis Arratia, quien no solo a mi parecer es el ser más molesto y pesado que he conocido, pero que a pesar de eso es una increíble persona con un gran corazón (hasta intento enseñarme a manejar pero mi poca habilidad lo impidió); A Emmanuel Molina con quien no tengo idea porque pero me gusta discutir, es una de las personas más pacientes que conozco, pues aun que le gane en el maratón sé que siempre podré contar con él; A Adán Rodríguez, a quien quizá no veo tan seguido, todas las noches podemos charlar, le agradezco sus regaños y consejos, recuerdo el viaje a Chiapas, donde aprendí mucho de él, de su pasión por la fotografía; A Alexis Gallegos (Gallitos), no hay persona que haga más bullying que él, quien además de dar los más extraños e increíbles regalos de cumpleaños, como controles de televisión o espumas para afeitarse, siempre ha cuidado de mí; a Víctor Velázquez (Galeno) quien puede de ser medio sentido en algunas ocasiones (Casi siempre), es un gran amigo que ha estado conmigo en los momentos más difíciles de mi vida; a Laura Barrientos quien me ha brindado su amistad a través de todos estos años, una persona muy cálida, amable y siempre dispuesta a escuchar; A María Muciño, a quien le encuentro parecido con un personaje de animé, un poco golpeadora pero a pesar de eso es una gran amiga; a Juliana, la primer amiga que tuve al entrar a la carrera, quien cocina

delicioso y a la fecha está al pendiente de mi a pesar de que le debo demasiadas salidas a cazar pokémon; a Alejandra Hernández, quien a pesar de las invitaciones fallidas a conciertos o su pésimo gusto para escoger películas, es una de las mejores personas que tuve el honor de conocer, le debo mucho; a Adriana Miranda, una maravillosa persona con la que he compartido muchos años de anécdotas, risas y momentos difíciles, sé que a pesar de la distancia puedo seguir contando con ella; Alberto, Gabriela, Izumy, Erick Mancilla y Erick, quienes me alegraron los días, las prácticas, las clases y me apoyaron durante todo este tiempo.

Quiero darle las Gracias a las personas que formaron parte de mi etapa final y a quienes les debo gran parte de este fin de ciclo, quienes todo este tiempo han estado apoyándome y creyendo en mí, pidiendo y exigiéndome el máximo en cada uno de mis proyectos. Del laboratorio de bacteriología, A los Doctores Pedro Ramírez y Diego Chaparro por todo el tiempo y sobre todo la paciencia invertidos en mí, me dieron mi primera oportunidad de ingresar a un Laboratorio, me enseñaron a afrontar los momentos más difíciles de la vida con coraje, además de creer en mis proyectos llevándolos al extranjero, ha sido un honor poder trabajar a su lado; Lilita Robles quien me rescato en el peor momento, quien estuvo y está ahí desde el día uno, una persona increíble con carácter fuerte, quien logro impulsarme a ser una mejor versión de mí, con quien estaré agradecido toda la vida, por apoyarme y ayudarme cuando más lo necesitaba, por defenderme en el laboratorio y creer en mí aun cuando yo no lo hacía, por sus palabras y todos los momentos que hemos compartido, te quiero mucho; a Nayeli y Frida las risas más estruendosas de todo el laboratorio, pero excelentes amigas; A Janette, Catriona, Gabriela, Lulú, Betsy, Julio, Hugo, Miguel, David, Amauri, Darío y Luis, por todos los grandes momentos que pasamos juntos, las comidas, las prácticas, las salidas, les agradezco su apoyo y su cariño sincero.



## INDICE

<b>1. Resumen</b>	<b>1</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>3. Antecedentes</b>	<b>7</b>
<b>4. Justificación</b>	<b>9</b>
<b>5. Objetivos</b>	<b>10</b>
<b>6. Área de estudio</b>	<b>10</b>
<b>7. Material y Métodos</b>	<b>12</b>
<b>7.1. Descripción de la toma de muestras</b>	<b>12</b>
<b>7.2. Toma de muestras para análisis de laboratorio</b>	<b>13</b>
<b>7.3. Análisis en laboratorio de parámetros fisicoquímicos</b>	<b>13</b>
<b>7.3.1. DBO<sub>5</sub></b>	<b>13</b>
<b>7.3.2. Clorofila <i>In vivo</i>, clorofila total, turbidez</b>	<b>14</b>
<b>7.3.3. Nutrientes</b>	<b>14</b>
<b>7.4. Análisis de muestras biológicas</b>	<b>15</b>
<b>8. Resultados</b>	<b>17</b>
<b>8.1. Parámetros tomados en campo</b>	<b>17</b>
<b>8.2. Pruebas realizadas en el laboratorio (UIICSE/FES Iztacala)</b>	<b>21</b>
<b>8.3. Resultados de muestras biológicas</b>	<b>30</b>
<b>9. Discusión</b>	<b>36</b>
<b>10. Conclusiones</b>	<b>45</b>
<b>11. Bibliografía consultada</b>	<b>46</b>
<b>12. Anexos</b>	<b>52</b>

## 1. RESUMEN

El agua que se encuentra en nuestro planeta cubre cerca de tres cuartas partes (71%) de la superficie de la Tierra, el 97% del agua es salada y corresponde a la contenida en los océanos y mares, sólo el 3% del volumen es agua dulce y de ésta tan solo el 1% se encuentra en estado líquido. Por otra parte, el agua disponible para consumo ha disminuido tanto en cantidad como en calidad, debido a la sobreexplotación, la contaminación y la deforestación provocadas por las actividades antropogénicas. En la actualidad, hay diferentes vías para recabar información que pueda asociarse a la calidad del agua, tal es el caso de los parámetros fisicoquímicos y biológicos. Dentro de estos últimos encontramos a las diatomeas y cuyo estudio es muy vasto en Latinoamérica, como ejemplo tenemos el trabajo de Díaz-Quirós *et al.* (2002), en lo que respecta a México existen trabajos como el que presentó Moreno-Ruiz *et al.* (2008), o el recientemente presentado por Mora *et al.* (2015), en este trabajo el área de estudio comprendió los Municipios de Amacuzac y Puente de Ixtla que ocupan una extensión geográfica de casi el 9% del total del estado de Morelos; como sucede en la mayoría de los ríos de México, existen pocos trabajos de potamoplancton en el río Amacuzac, sin embargo estos indican que hay una relación de su deterioro con el aumento de los contaminantes, por lo que se puede resaltar que el estudiar la presencia de estos organismos nos arrojaría un panorama más amplio de la calidad del agua. En este estudio se identificaron un total de 25 especies de diatomeas, además, se les aplicó el índice de Descy (1979), el cual arroja información sobre la calidad del agua en el sitio analizado. Asimismo se midieron parámetros in situ como temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad; en el laboratorio de la FES Iztacala, a las muestras de agua se les realizaron pruebas como DBO<sub>5</sub>, clorofila in vivo, turbidez, nutrientes y coliformes totales y fecales. Con los resultados obtenidos del índice mencionado se muestra que *Nitzschia amphibia* es el organismo más abundante y en conjunto con los parámetros fisicoquímicos la estación uno es la más contaminada, mientras que la estación tres es la que mejor calidad presenta.

**Palabras clave:** Calidad del agua, Amacuzac, *Nitzschia*, potamoplancton.

## 2. INTRODUCCIÓN

El agua en nuestro planeta cubre cerca de tres cuartas partes (71%) de la superficie de la Tierra y se encuentra en cualquier lugar de la biósfera en los tres estados de agregación de la materia, sólida, líquida y gaseosa. El 97% del agua es salada y se encuentra en los océanos y mares, sólo el 3% del volumen es agua dulce y de ésta el 1% está en estado líquido (Gómez-Gómez M. *et al.* 2010).

Si bien la cantidad de agua que tenemos en el planeta no es constante, su distribución en los continentes y la calidad en que se encuentra presenta variaciones, el agua disponible para consumo ha disminuido tanto en cantidad como en calidad, debido a la sobreexplotación, la contaminación y la deforestación provocadas por las actividades antropogénicas. En México el balance hídrico nos muestra que la gran mayoría del agua dulce proviene de las lluvias, la cual se infiltra al subsuelo, de tal forma que el agua subterránea abastece a 75% de la población, 61% a la industria y 33% a la agricultura (FEA, CEMDA, 2006).

Por otra parte, desde la aparición de grandes asentamientos humanos, han vertido sus residuos y basura en la tierra, la atmósfera y principalmente en el agua; esta forma de actuar ha hecho que los residuos sean la causa de la contaminación que incide en la salud, en ocasiones de la misma población que los desechó. La contaminación del agua tiene varias vertientes, que van desde cómo le afecta la precipitación pluvial que arrastra residuos que llegan a las aguas superficiales y subterráneas hasta la descarga directa de las poblaciones o municipios a orillas de los cauces o cuerpos de agua naturales y como consecuencia la degradación de los ecosistemas naturales. De lo anterior ha quedado documentado que el crecimiento de la población y la expansión de sus actividades económicas han presionado negativamente los ecosistemas de las aguas costeras, los ríos, los lagos, los humedales y los acuíferos (Gómez-Gómez *et al.* 2010). Sin embargo por la cercanía y fácil acceso, el aprovechamiento del recurso se ha enfocado por sobre los cuerpos de agua superficiales y su importancia radica en la riqueza que proporciona este recurso y en la posibilidad que ofrece para la realización

de actividades domésticas, agrícolas, industriales, de acuicultura y de recreación, entre otras (Díaz *et al.*, 2005).

Toda esta problemática acarrea un efecto negativo como es la escasez de agua en las ciudades, aunado al sin número de descargas y por consiguiente a la mezcla de aguas naturales con aguas crudas (sin tratamiento) lo que causa contaminación. Las aguas residuales pueden proceder de varias fuentes y escurrimientos, particularmente las agrícolas, descargas domésticas e industriales, además de las descargas no puntuales por asentamientos humanos irregulares o la presencia de ganado en sus márgenes, generando un aporte excesivo de nutrientes, particularmente P y N; lo anterior trae como consecuencia el proceso denominado eutrofización, lo que favorece que disminuyan algunas especies de microorganismos y la proliferación de otros que son oportunistas o que están más adaptados en aprovechar las condiciones ambientales que han cambiado debido a este proceso (Wetzel, 2001).

Dentro de los ambientes acuáticos están presentes microorganismos como el fitoplancton, que es una comunidad constituida por organismos fotosintéticos pertenecientes a diversos grupos algales, entre los que se encuentran las diatomeas, clorofíceas, euglenoideos, dinoflagelados, criptofíceas y las cianoprocaritas. Estos organismos, se encuentran en la base de las cadenas alimentarias de estos ambientes debido a su capacidad fotosintética, se distribuyen pasivamente debido a su talla pequeña y a los movimientos generados en el cuerpo de agua (Boney, 1983).

En el caso particular de los cuerpos de agua lóticos, como es el caso que nos ocupa, las diatomeas son los organismos autótrofos más abundantes, ya que pueden habitar en rocas (epilítton), arena (episamon), limoarcillas (epipelon) o, plantas (epifiton), estos organismos son algas unicelulares que presentan una pared celular fuertemente silificada, asimismo, se les ha dado un valor como indicadores de la calidad del agua, por lo que a partir de ellos se han desarrollado los denominados índices bióticos (Licursi & Gómez, 2003).

Las diatomeas han sido incluidas en los estudios de calidad del agua a partir de las investigaciones de Kolkwitz & Marsson (1908), además de las realizadas por Patrick (1949, 1957, 1964), la mayoría de estos realizados con algas bentónicas con el fin de evaluar la calidad del agua, algunos de estos clasificaron las diatomeas de acuerdo a su tolerancia a la polución de carácter industrial y doméstica (Lange Bertalot 1978, 1979, Sládeček 1973), también se han analizado la composición y diversidad específica a gradientes de polución (Descy, 1979, Descy & Coste, 1990, 1991) por mencionar algunos (Licursi & Gómez, 2003).

Con el uso de los índices biológicos se ha buscado que nos den información de la situación y condiciones ambientales tanto momentáneas como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras (De la Lanza-Espino, *et al* 2000). Los microorganismos que habitan en los cuerpos de agua presentan adaptaciones evolutivas a determinadas condiciones ambientales, sin embargo antes de eso presentan límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Estos límites de tolerancia varían, de tal forma que se encuentran organismos “sensibles” que no soportan las nuevas condiciones impuestas, comportándose como “intolerantes”. Si la perturbación llega a un nivel letal para los intolerantes, estos mueren y su lugar es ocupado por comunidades de organismos tolerantes, aun cuando la perturbación no sobrepase el umbral letal, los organismos intolerantes sucumben o abandonan la zona alterada. De modo que variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación o cambios en el flujo por la construcción de presas o desvío del curso aguas arriba (Alba-Tercedor, 1996).

También se ha utilizado desde hace mucho tiempo a las bacterias como el tipo de microorganismos cuya presencia en el agua y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad de la misma y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas, evitando así la contaminación y el riesgo para la salud de la población y del ambiente. Sin embargo la determinación de organismos patógenos implica costos

elevados, tiempo, y laboratorios especializados. Frente a estas dificultades y a la necesidad de hacer una evaluación rápida y fiable de la presencia de patógenos en el agua, se ha planteado la necesidad de trabajar con determinados grupos indicadores como es el caso del grupo coliforme (Pulido *et al.*, 2005).

El grupo coliforme abarca los géneros *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Serratia*, cuatro de estos géneros, se encuentran en grandes cantidades en el ambiente (fuentes de agua, vegetación y suelos) no están asociados necesariamente con la contaminación fecal y no plantean ni representan necesariamente un riesgo evidente para la salud. Las bacterias coliformes, no deben estar presentes en sistemas de abastecimiento, almacenamiento y distribución de agua, y si así ocurriese, ello es indicio de que el tratamiento fue inadecuado o que se produjo contaminación posterior. Los coliformes fecales son aquellos que pueden fermentar la lactosa a 44.5° C, comprenden el género *Escherichia* y en menor grado, especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter* (Marchand 2002).

Los ríos y arroyos de México constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, por los cauces de los 51 ríos principales fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y sus cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del territorio. Por la superficie que abarcan, destacan las cuencas de los ríos Bravo y Balsas, y por su longitud, los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta. Los ríos Lerma, Nazas y Agua naval pertenecen a la vertiente interior. Dos tercios del escurrimiento superficial se dan en los cauces de siete ríos: Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá, a la vez que sus cuencas representan el 22% de la superficie de nuestro país (Atlas del Agua en México 2015).

Los estudios llevados a cabo dentro de los ríos y arroyos en México son escasos, el 50% de ellos se enfocan en poblaciones de peces y el efecto de la calidad de agua sobre estos, un 20% de los estudios en ríos se enfocan en artrópodos, y su efecto como organismos bioindicadores, los crustáceos también son de los que más trabajos se presentan con un 10%. En el 18% restante se encuentran trabajos realizados para

determinar la calidad del agua de los ríos, también podemos encontrar trabajos sobre parámetros fisicoquímicos, metales pesados, moluscos etc., y tan solo el 2% de los trabajos se especializa en diatomeas y zooplancton, restándole la importancia que también tienen como bioindicadores.

Sin embargo desde el 2015 la red nacional de monitoreo de calidad del agua (CONAGUA) contaba con 4,999 sitios, distribuidos en todo el país, adicionalmente a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitorizados por la red, desde 2005 se llevan a cabo monitoreo biológicos en algunas regiones del país, que permiten evaluar la calidad del agua con métodos sencillos y de bajo costo (tales como el índice de biodiversidad con organismos bentónicos) (Atlas del Agua en México 2016).

### 3. ANTECEDENTES

En la actualidad, la información que asocia la calidad del agua con las diatomeas, parámetros fisicoquímicos y biológicos es muy vasta sobre todo en Europa y Latinoamérica, como ejemplo tenemos el trabajo de Díaz-Quirós *et al.*, (2002), quienes realizaron un estudio que incluía 16 puntos de muestreo en 14 ríos andinos de la cuenca media y alta del río Bogotá; analizaron algunas variables físicas, químicas e hidrológicas, además de la comunidad de fitobentos a nivel de clases, encontrándose a las diatomeas como grupo dominante.

En cuanto a México existen trabajos como el de Moreno-Ruiz *et al.*, (2008), en donde identificaron 298 especies del fitoplancton, siendo las diatomeas las que mayor porcentaje presentaron (42%), seguidas de las clorofíceas con un 29% y finalmente las cianofíceas con un 18%. Otra referencia es el trabajo recientemente presentado por Mora *et al.* (2015), de un estudio llevado a cabo en los ríos Laja y Dolores en el estado de Guanajuato, México en el que se encontraron 173 registros infra genéricos de los cuales siete son registros nuevos para México: *Fallacia monoculata*, *Hantzschia abundans*, *Navigiolum uruguayense*, *Neidium bisulcatum*, *Nitzschia solita*, *Planothidium incuriatum* y *Sellaphora bacilloides*; cabe mencionar que *Navigiolum* es nuevo registro a nivel genérico. Además, 3 especies son nuevos registros para el estado de Guanajuato: *Gomphonema laticollum*, *G. subclavatum* y *Gomphosphenia lingulatiformis*; lo anterior nos muestra la importancia y riqueza de especies de este grupo de organismos.

Otros trabajos relacionados con diatomeas en la zona central de México, es el caso del trabajo de López-Mendoza (2015), en el canal del Bordo de Xochimilco en la época de lluvias (2008) y secas (2009), los resultados mostraron una composición diversa de fitoplancton, donde se observaron especies que no habían sido encontradas en México, (además de no presentarse grandes diferencias en los parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua, tal vez debido a la procedencia del agua con la que se mantiene el nivel en Xochimilco y que proviene del efluente de la planta de tratamiento de agua residuales del Cerro de la Estrella. Sin embargo aún no es suficiente la cantidad de trabajos que



nos den un panorama más amplio de la asociación de las diatomeas como indicadores biológicos de la calidad del agua.

En lo que se refiere a parámetros fisicoquímicos y biológicos, gran parte de los trabajos revisados hacen referencia al índice de calidad del agua (ICA), que interpreta los niveles de concentraciones registradas de los parámetros que lo integran para obtener un valor adimensional en una escala numérica entre 0 y 500, con rangos intermedios representados por distintos colores, como lo observamos en el trabajo de Carrillo& Villalobos (2011), en el cual realizaron un análisis comparativo de los índices de calidad del agua, en los ríos Tecolutla y Cazones en el periodo de marzo a diciembre del 2010.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

El área de estudio comprende los Municipios de Amacuzac y Puente de Ixtla que ocupan una extensión geográfica de casi el 9% del total del estado de Morelos, más de 70,000 personas habitan en estas partes del estado, el río Amacuzac atraviesa estos dos municipios abasteciendo a la población, para su consumo, la ganadería y la agricultura, por lo mismo este río recibe descargas constantes de los desechos provenientes de las actividades antes mencionadas. Estos contaminantes proporcionan nutrientes a organismos microscópicos como las diatomeas y las bacterias, que desde luego en grandes números participan en el deterioro de la calidad del agua, por lo anterior se han realizado numerosos estudios para determinar su calidad mediante parámetros fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos que se han utilizado para tales fines y entre los que se encuentran a manera de ejemplo: DBO<sub>5</sub>, pH, Temperatura, Nutrientes (P y N) y coliformes.

Como sucede en la mayoría de los ríos de México, existen pocos trabajos de potamoplancton en el río Amacuzac, sin embargo estos indican que hay una relación de su deterioro con el aumento de los contaminantes, por lo que estudiar la presencia de estos organismos nos arrojaría un panorama más amplio de la calidad del agua en este importante río para la población del estado de Morelos. El fitoplancton serviría como un indicador biológico de los grados de contaminación en el río. Por eso es esencial que la calidad del agua en estos lugares se preserve, para abastecer las actividades y el consumo de la población.

## 5. OBJETIVOS

### General

Determinar la calidad del agua en tres zonas del río Amacuzac, con base en parámetros fisicoquímicos y biológicos.

### Particulares

- Determinar la riqueza de los grupos de diatomeas presentes.
- Conocer la abundancia de diatomeas en las 3 zonas del río Amacuzac
- Analizar los parámetros fisicoquímicos en 3 zonas del río Amacuzac
- Determinar los números de coliformes totales y fecales.

## 6. AREA DE ESTUDIO

El río Amacuzac es uno de los afluentes más importantes del río Balsas, se origina a las faldas del Nevado de Toluca, en el Estado de México, a una altitud de 2,600 msnm. En las inmediaciones del poblado de Tequisquiapan, en el Estado de México, donde se conoce como río Texcatitlán.

El río Amacuzac corre por el valle de Almoloya de Alquisiras y más abajo, después de un desarrollo de 75 Km, llega a la zona de calizas de la Sierra de Cacahuamilpa, en los límites entre el estado de Guerrero y Morelos, en donde la corriente desaparece al pie del cerro del Jumil, confluyendo subterráneamente los ríos San Jerónimo y Chontacoatlán, emergiendo ambas corrientes en las grutas de Cacahuamilpa y Carlos Pacheco, respectivamente. A partir de este punto, la corriente se conoce como río Amacuzac y corre en territorio del estado de Morelos, en una dirección general hacia el sureste del estado y, hasta la confluencia con el río Cuautla, a unos 62 kilómetros de las grutas; por el municipio de Coatlán del Río, se dirige hacia el sureste y atraviesa las poblaciones de Huajintlán y Amacuzac.

Posteriormente recibe el caudal del río Chiquito, al noreste del cerro El Clarín, que recoge las aguas del Tembembe y el Chalma, prosiguiendo su sinuoso camino rumbo al sureste, cruzando varias localidades como El Estudiante, Tehuixtla, Vicente Aranda,

Chisco y Xicatlacotla, y continúa hacia el norte de la mesa el Capire; después de escurrir hacia el suroeste de Nexpa, que sirve de límite natural entre Morelos y Guerrero.

Por último, llega al paraje llamado Balseadero, punto limítrofe de los estados antes mencionados y Puebla. En este lugar sigue su recorrido de aproximadamente 104 Km. y se encamina hacia el suroeste, fuera de Morelos hasta confluir con el río Balsas.

El río Amacuzac presenta intensas avenidas en los meses de verano y leves escurrimientos en los restantes, su morfología se caracteriza por una secuencia alternante corriente/remanso que son originados por cambios en el gradiente. Las corrientes presentan el fondo denominado por canto rodado y grava, en los remansos existe arena y lodo. El clima que predomina en el río Amacuzac es cálido-subhúmedo; registra temperaturas desde 15° hasta 45° C, con una temperatura promedio anual de 25° C; su precipitación pluvial promedio es de 1,187 milímetros cúbicos anuales y su período de lluvias es de junio a octubre (Trujillo-Jiménez 2002) (Gobierno del estado de Morelos 2018).

De la descripción hecha por Trujillo-Jiménez de la zona de estudio, el tramo correspondiente al presente estudio realizado en el río Amacuzac, quedó comprendido en un triángulo formado por los 3 puntos de muestreo que se mencionan a continuación: localidad El Estudiante con las coordenadas 18° 34.5' N , 99° 17.8' O (Estación 1), la localidad de Chisco N 18° 33.6' N 99° 16.8' O (Estación 2) y la localidad de Tehuixtla 18° 32.8' N 99° 16.7' O (Estación 3).

Los muestreos se realizaron mensualmente de mayo a diciembre del 2015 y de enero a marzo de 2016.

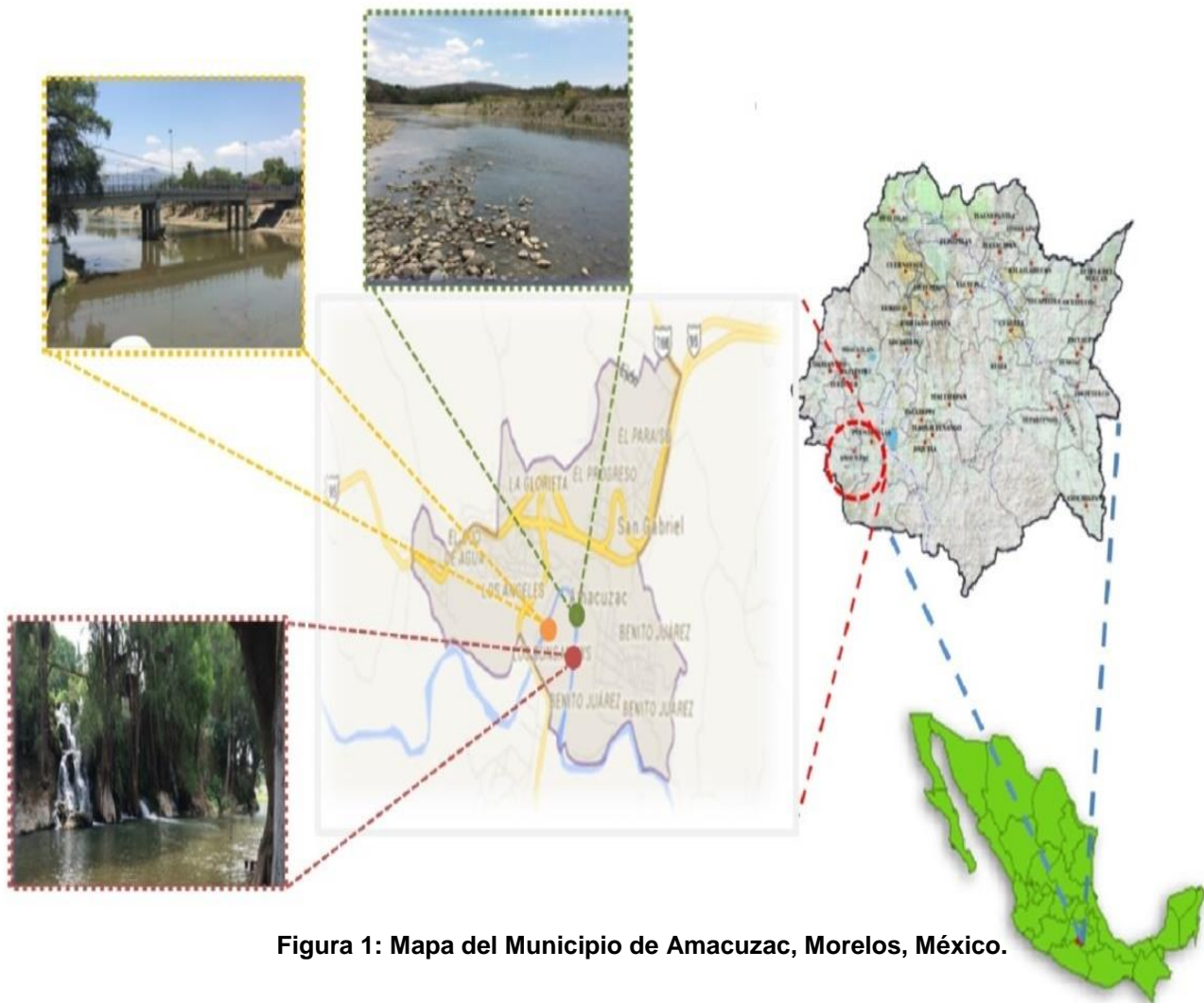


Figura 1: Mapa del Municipio de Amacuzac, Morelos, México.

## 7. MATERIAL Y MÉTODOS

### 7.1 Descripción de la toma de muestras

Las zonas donde se colectaron las muestras se eligieron con base a las siguientes características: a) zona de asentamientos humanos (descargas urbanas); b) zona de actividades antropogénicas (ganadería y agricultura); c) zona turística con balneario a las márgenes del río. En cada una de las zonas de muestreo se midieron los siguientes parámetros *in situ*: pH con un potenciómetro HANNA, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del agua con un instrumento YSI 9500.

## 7.2 Toma de muestras para análisis de laboratorio

Se tomaron 250 mL de muestras de agua en recipientes de plástico opacos para la determinación de amonio, nitratos y fosfatos. Aleatoriamente se tomaron 2L de agua en bidones de poliuretano para la determinación de la DBO<sub>5</sub>. Para la determinación de clorofila-a total, clorofila *in vivo* y turbiedad se tomaron muestras de 250 mL de agua envasándose en botellas oscuras de polietileno. Para el análisis del grupo coliforme, se tomaron 250 mL de agua en bolsas estériles (Whirlpack); las muestras de potamoplancton se obtuvieron de forma directa al concentrar 100 L con la ayuda de una red de apertura de malla de 20 µm, se utilizó Lugol al 4% para fijar las muestras, se colocaron en envases de 500 mL de plástico, todas las muestras fueron preservadas en campo, refrigeradas a temperatura de 4° C y transportadas al laboratorio de bacteriología (UIICSE) de la FES Iztacala en idénticas condiciones.

## 7.3 Análisis en laboratorio de parámetros fisicoquímicos

### 7.3.1 DBO<sub>5</sub>

El análisis de los parámetros fisicoquímicos se realizó en el laboratorio de bacteriología (UIICSE) FES Iztacala; se determinó la DBO<sub>5</sub> utilizando el método de Winkler de acuerdo en la norma oficial mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001. Si las muestras no se encontraban en el rango de 6.5 a 7.5 unidades de pH se neutralizaban a ese rango de acuerdo a lo establecido por la APHA (1998), posteriormente se colocaron las muestras en botellas Winkler de 300 mL, las diluciones para realizar la prueba se establecieron de acuerdo a las distintas condiciones de los sitios de muestreo. Cada botella se llenó cuidadosamente con muestra y agua de dilución (la cual se prepara agregando 1ml de solución amortiguadora de fosfatos, 1 ml de Mg SO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 1 ml de Cloruro de calcio y 1 ml de cloruro férrico por cada litro de agua) tratando de no generar burbujas. Este procedimiento se realizó por duplicado ya que la técnica indica una lectura inicial y una final 5 días después, esta última se mantuvo en una incubadora a una temperatura de 20° C. Para fijar la muestra se utilizó: 1 ml de sulfato manganoso y 1 ml de Alkali-Yoduro-Azida, se agitó la muestra obteniéndose un precipitado color marrón, una vez que sedimentó se agregó 1 ml de ácido sulfúrico. Las muestras se titularon con tiosulfato

de sodio y el volumen utilizado se registró para realizar los cálculos respectivos con las siguientes fórmulas:

$$\text{Mg/L de OD} = \text{ml de Tiosulfato utilizados} \times \text{factor}$$

$$\text{Factor} = \frac{0.025 \times 8 \times 1000}{99.33}$$

$$\text{Mg/L de DBO}_5 = \frac{\text{mg/L ODi} - \text{mg/L ODf}}{\% \text{ de dilución expresado en decimales}}$$

### 7.3.2 Clorofila *in vivo*, clorofila total, turbidez

La clorofila *in vivo* y turbiedad, se analizó directamente en un fluorómetro Turner, obteniendo el resultado mediante la intensidad de la fluorescencia captada por dicho equipo. Respecto a la clorofila-a total, primero se filtró la muestra en un equipo Millipore colocándose en él un filtro de fibra de vidrio de 47 mm y una apertura de malla de 0.7 micras, posteriormente el filtro con la muestra fue macerado en un mortero de porcelana añadiendo 10 ml de acetona al 90%, esto en completa oscuridad debido a la sensibilidad de la clorofila-a a la luminosidad, la muestra se colocó en tubos de 15 mL y estos fueron centrifugados a 5000 rpm por 5 min, una vez terminado este proceso se almacenaron los tubos a 4° C y a las 24 horas se leyó el sobrenadante en un fluorómetro Turner.

### 7.3.3 Nutrientes

El análisis de los nutrientes se llevó a cabo por un método de colorimétrico en un fotómetro marca EcoSense, modelo YSI 9500. A 20 ml de muestra se le determinó el contenido de Nitratos (se calculó en un rango de 0-20 mg/L-N), utilizando los reactivos YSI (Nitratest powder (polvo), YSI Nitratest (tableta), YSI Nitricol (tableta). Se le agregó a un tubo con tapa de plástico, se añadió una cucharada de polvo de nitratest, se esperó durante 1 minuto para agregar la tableta de Nitratest, se agitó vigorosamente hasta disolver, y se dejó sedimentar el precipitado. De la fase clara se tomaron 10 ml de muestra, a la que se le añadió una tableta de Nitricol y se maceró hasta disolver, esperando durante 10 minutos a que la tableta reaccionara y obtener un color rosado, 10 ml de muestra directa se utilizaron considerando que el fotómetro pide un blanco para cada patrón de medición.

El cálculo de fosfatos se llevó a cabo bajo el rango 0-4.0 mg/L-PO<sub>4</sub>, con los reactivos: YSI Phosphate No.1 LR y YSI Phosphate No.2 LR (tabletas). Se agregaron a 10 ml de muestra, ambas pastillas que fueron trituradas hasta disolverlas, dejando en reposo la muestra durante 10 minutos hasta el desarrollo del color azul, considerando que el fotómetro pide un blanco para cada patrón de medición se utilizaron 10 ml de la muestra directa.

El cálculo del contenido de Amonio se hizo en el rango 0-1.0 mg/L-N, con los reactivos YSI Ammonia No.1 y YSI Ammonia No.2 (tabletas). Agregando a una celda 10 ml de muestra, se añadió una tableta No. 1 y una tableta No. 2, se maceró hasta disolver, el tiempo de espera fue de 10 minutos (tiempo aproximado de reacción) hasta desarrollar un color verde o amarillo, Se utilizaron 10 ml de la muestra directa considerando que el fotómetro pide un blanco para cada patrón de medición.

Por último se calculó el contenido de Nitritos en rango de 0-1.6 mg/L-NO<sub>2</sub>, con los reactivos YSI Nitricol (tableta). A una celda de vidrio se le agregaron 10 ml de muestra, se añadió la tableta de Nitricol y se maceró hasta disolver, el tiempo de reacción es de 10 minutos hasta desarrollar color rosa, considerando que el fotómetro requiere de un blanco para cada patrón de medición, se utilizaron 10 ml de la muestra directa.

#### 7.4 Análisis de muestras biológicas

Las muestras de Coliformes Totales y Fecales fueron analizadas mediante la prueba del número más probable, en series de 5 tubos con tres diluciones (APHA 1995).

Las muestras de diatomeas fueron lavadas con peróxido al 30% y montadas en porta objetos con NAPHRAX, se realizó un previo en un microscopio óptico con contraste de fases para identificación de organismos, además se utilizaron las claves especializadas de Parra *et al.* (1982), Cox (1996) y Novelo (2012), para la determinación se hicieron conteos de organismos en cámaras de sedimentación con 10 ml de muestra en un invertoscopio de iluminación Köhler. Con los resultados obtenidos se utilizará el índice de Descy (1979), frecuentemente utilizado y al cual se agregan valores de  $s_j$  (sensibilidad a la contaminación) en rangos de 1 a 5 y  $v_j$  (valor indicador) en rangos de 1

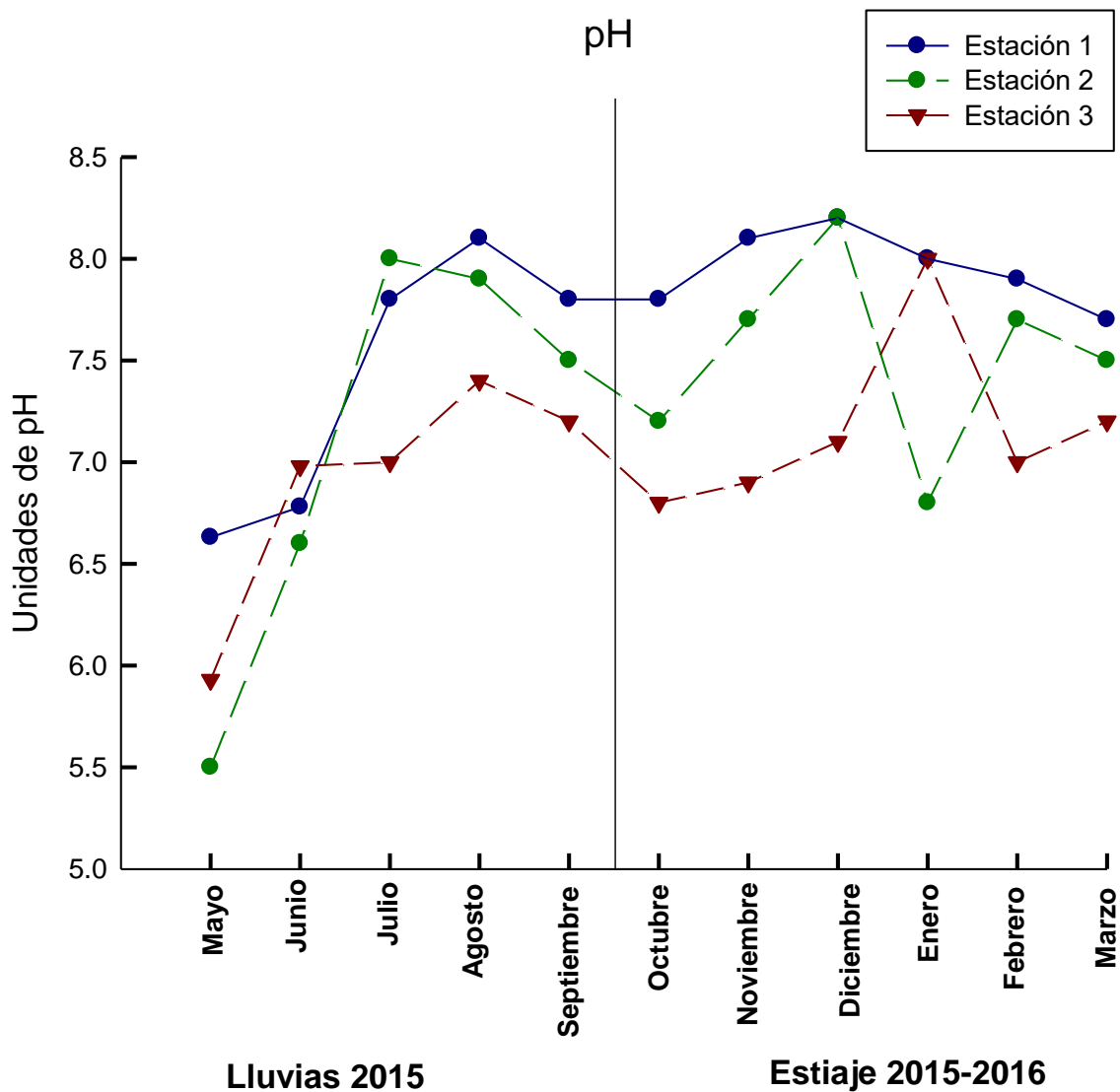


a 3, el resultado de este índice genera un resultado en rangos de 1 a 5, entre más cercano el valor a 5 es mejor la calidad del agua en estudio (ver anexo).

## 8. RESULTADOS

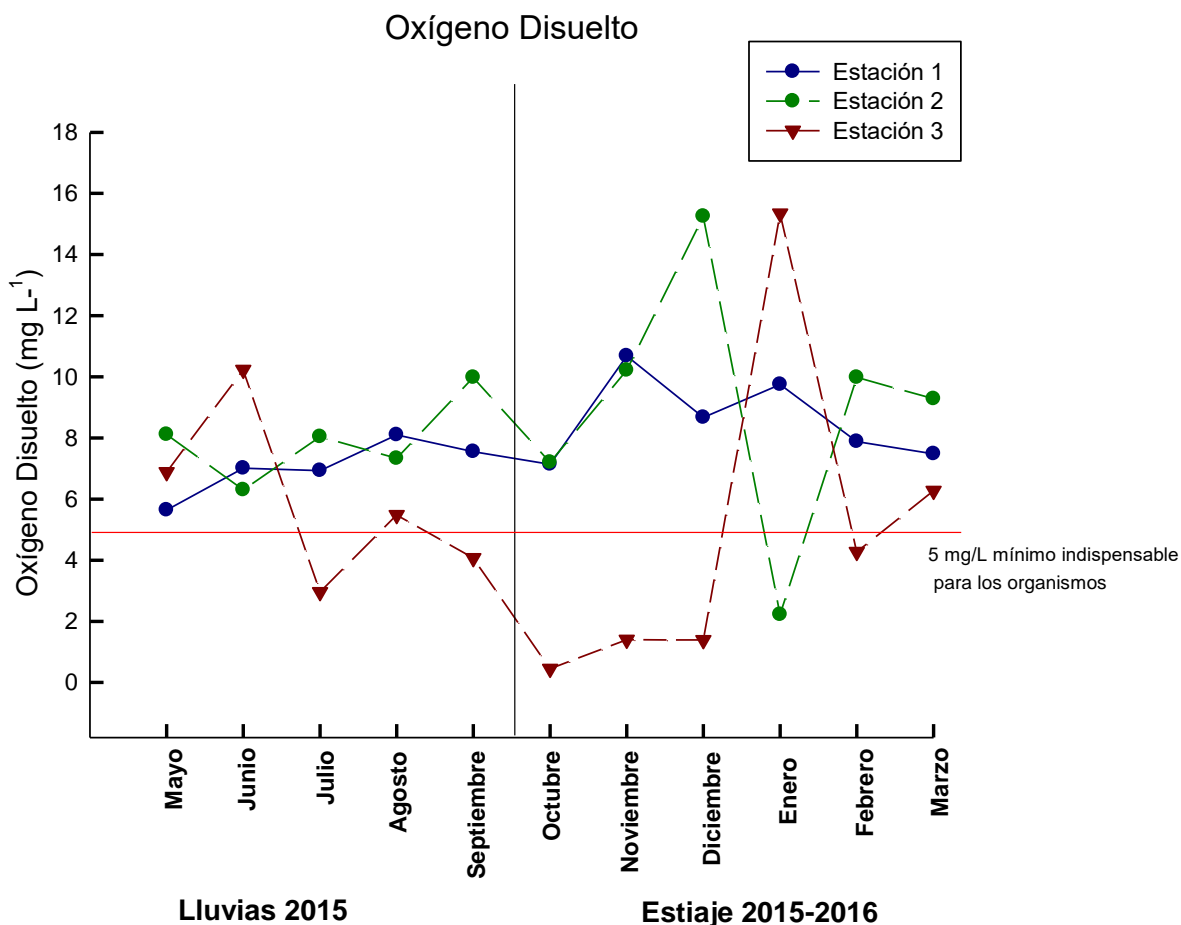
### 8.1 Parámetros tomados en campo

En la gráfica 1 se observan los valores de pH en un ciclo anual en las tres zonas estudiadas del río Amacuzac, el valor más alto se dio en la época de lluvias en el mes de agosto en la estación 1 (8.2 unidades de pH), el valor más bajo que se registró fue también en la época de lluvias pero en el mes de mayo en la estación 2 (5.5 unidades de pH), además, el mes de mayo presenta el menor promedio para todas las estaciones con un valor de 5.9 unidades de pH.



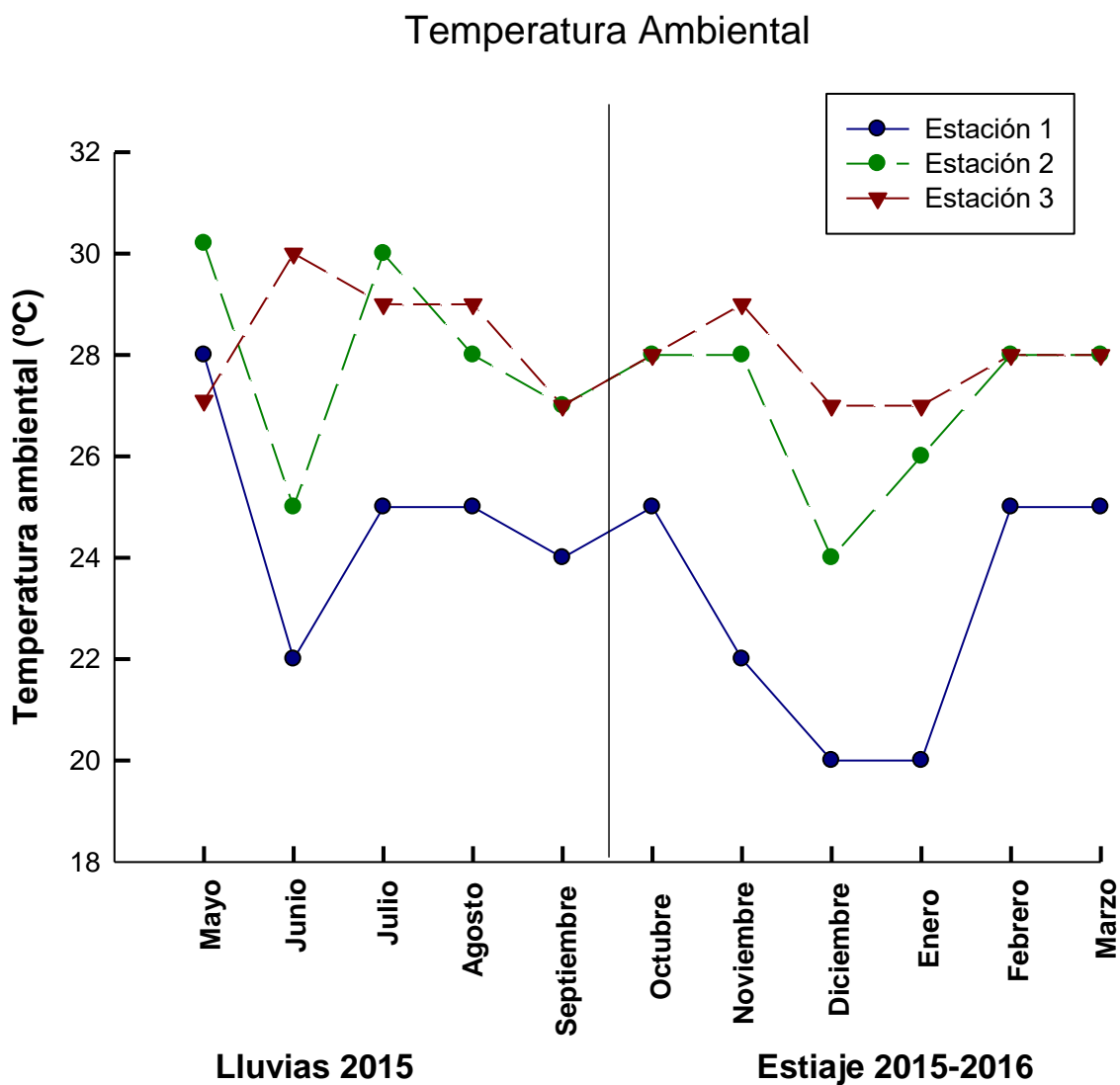
Gráfica 1. Determinación de pH (unidades) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

En la gráfica 2, se observan los valores de oxígeno disuelto en un ciclo anual en tres zonas del río Amacuzac, los valores más altos se encuentran en la estación 2 y 3 con 15 mg/L en promedio en la época de estiaje para los meses de diciembre 2015 y enero 2016, el valor más bajo se obtuvo en la estación tres con 0.45 mg/L en la época de estiaje, el promedio más alto se da en la estación 2 con valor de 16.97 mg/L, mientras que el más bajo se registra en la estación 3, con valores de 10.77 mg/L, la línea roja representa el mínimo indispensable para la supervivencia de los organismos (5 mg/L) de acuerdo a los criterios ecológicos del agua (SEDUE 1989).



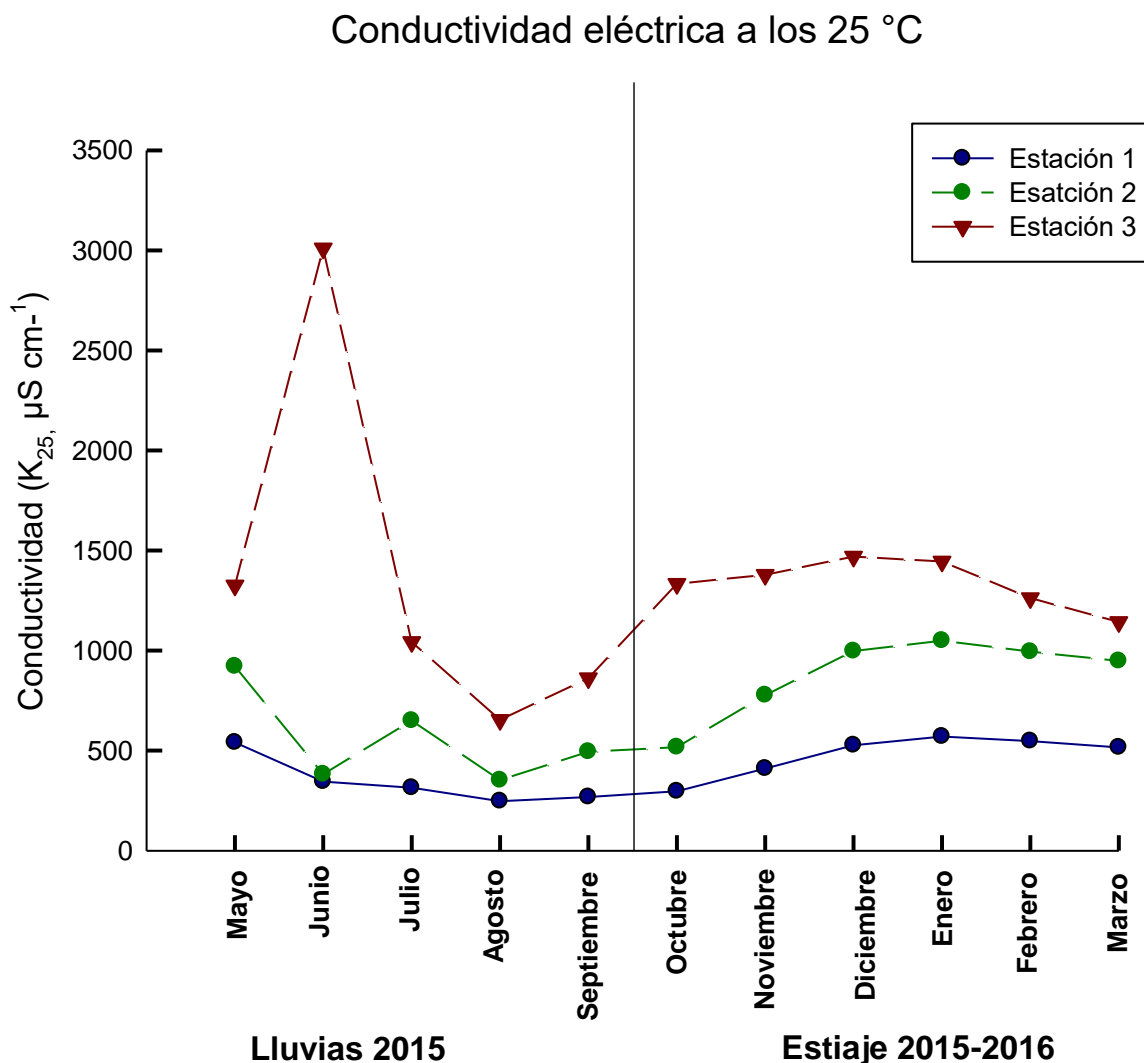
Gráfica 2. Determinación de Oxígeno disuelto (mg L<sup>-1</sup>) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística), la línea roja delimita los valores mínimos permisibles que marca la (SEDUE 1989) NOM-001 (LMP).

En la gráfica 3 se observa la temperatura ambiente de un ciclo anual en tres zonas del río Amacuzac, se observa que el valor más alto se obtuvo en la estación 2 en el mes de mayo (época de lluvias) con 31° C, la menor temperatura se obtuvo en los meses de diciembre y enero en la estación 1 con valores de 20° C, el promedio de la época de lluvias es de 28.1° C.



Gráfica 3. Determinación de temperatura ambiental (°C) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

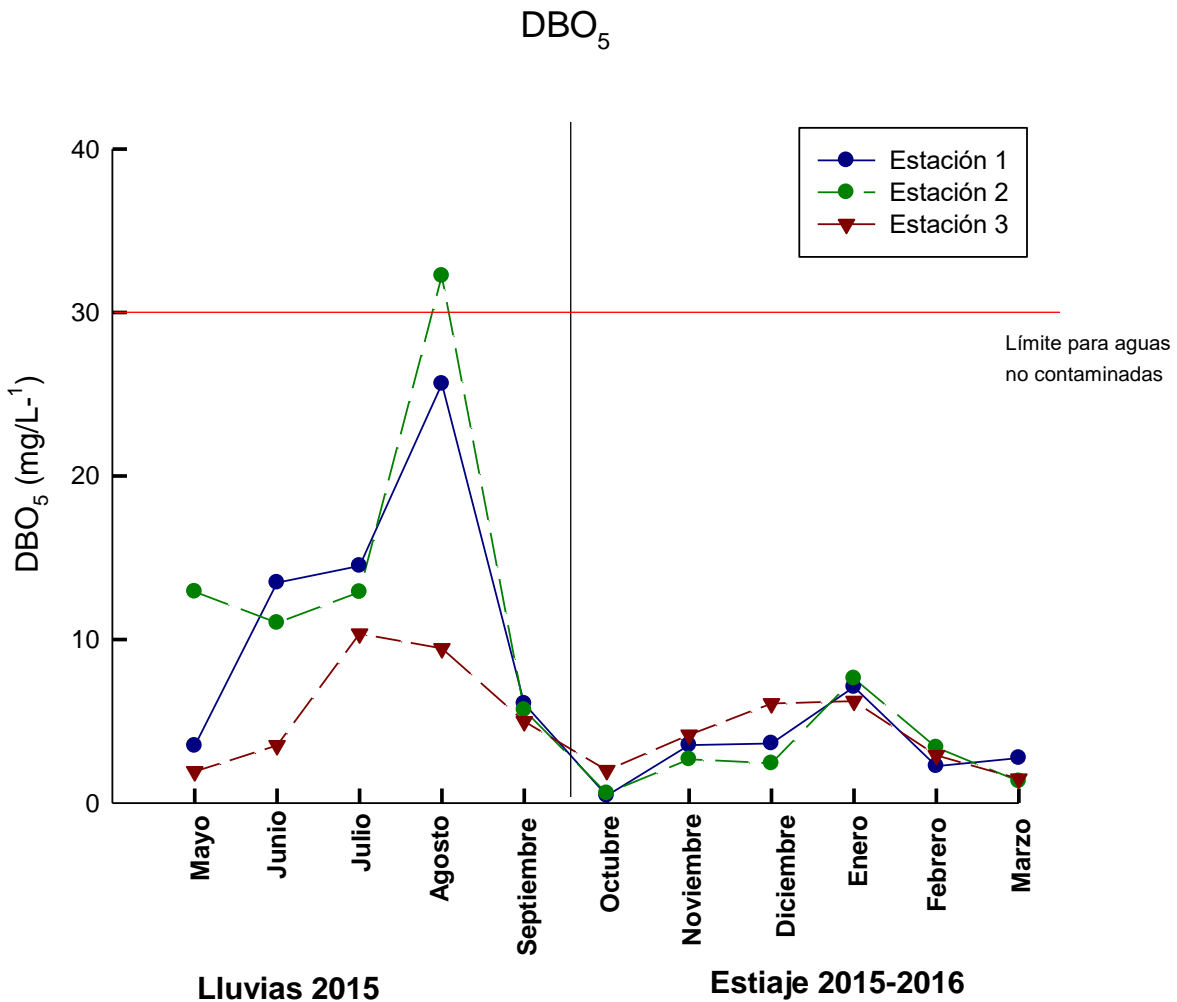
La gráfica 4 muestra los valores de conductividad en un ciclo anual en tres zonas del río Amacuzac expresados en microsiemens/cm, el valor más alto se registra en la estación 1 en el mes de junio con 3010  $\mu\text{S cm}^{-1}$  en la época de lluvias, aunque se observa que decrece conforme pasan los meses hasta llegar a los 862  $\mu\text{S cm}^{-1}$  en el mes de septiembre, aun así, esta estación mantiene el mayor promedio de conductividad, mientras que el valor más bajo lo registra la estación 1 con tan solo 247  $\mu\text{S cm}^{-1}$  en la época de lluvias, en el mes de agosto.



Gráfica 4. Determinación de Conductividad eléctrica ( $K_{25}$ ,  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

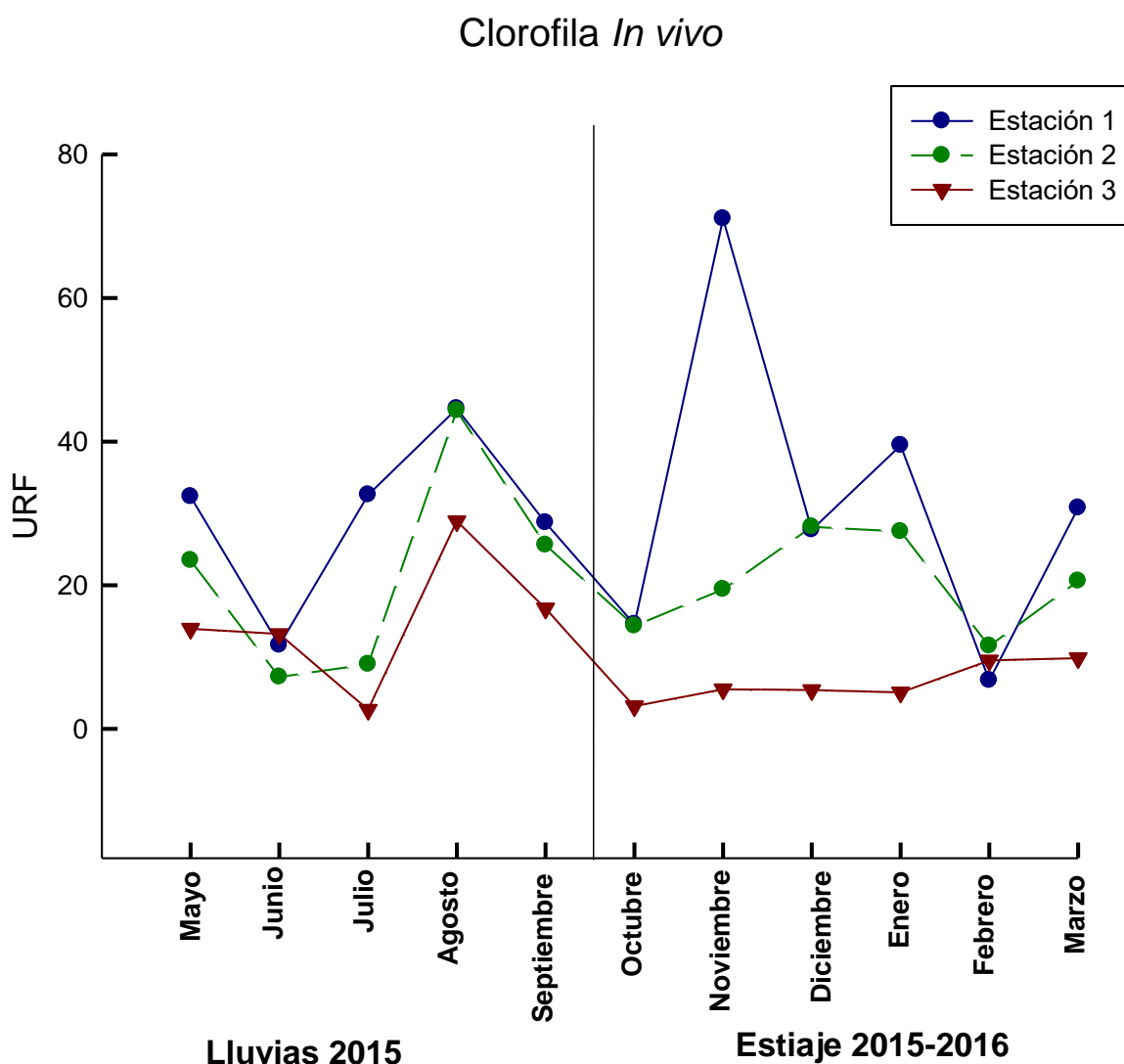
8.2 Pruebas realizadas en el Laboratorio (UIICSE / FES Iztacala)

La gráfica 5, muestra los datos obtenidos de DBO<sub>5</sub> en un periodo anual en tres zonas del río Amacuzac, la estación que registró el valor más elevado fue la 1 con 64.17 mg/L en el mes de octubre en época de estiaje, por otra parte los valores más bajos se obtuvieron en los meses de enero y marzo en las estaciones 2 y 3 también en época de estiaje, con valores que oscilan entre 4.22 y 4.77 mg/L, en la época de lluvias se puede ver que todas las estaciones mostraron un comportamiento homogéneo.



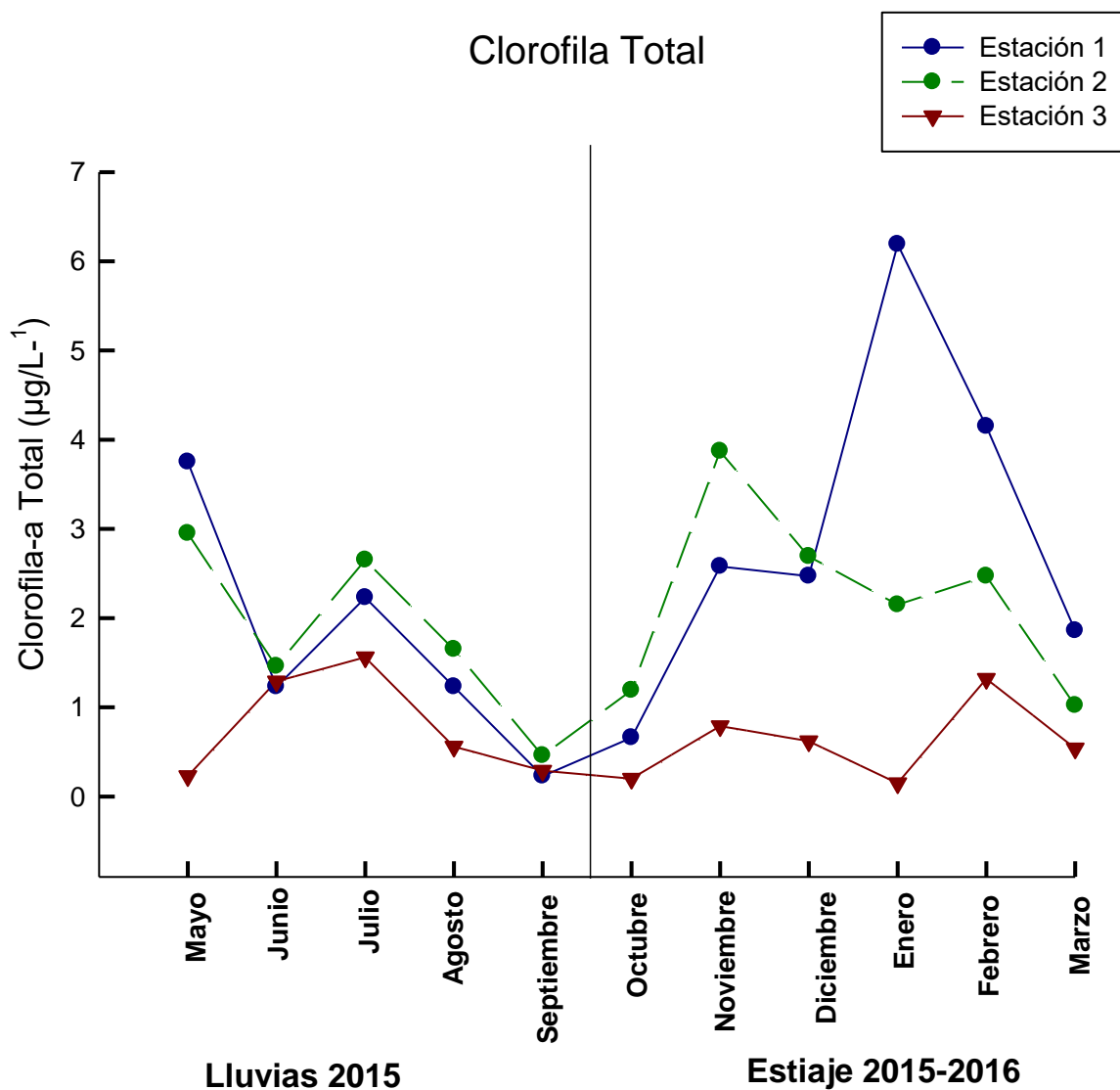
Gráfica 5. Determinación de DBO<sub>5</sub> (mg L<sup>-1</sup>) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

Para la clorofila *in vivo*, (gráfica 6) en la época de lluvias se tiene registro del valor más bajo para toda la campaña de muestreo con 2.65 URF registrada en el mes de julio en la estación 3, el valor más alto se registró en la época de estiaje en noviembre y llega hasta los 71.03 URF que se obtuvieron en la estación 1 en el mes de noviembre.



Gráfica 6. Determinación de Clorofila *In Vivo* (URF) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

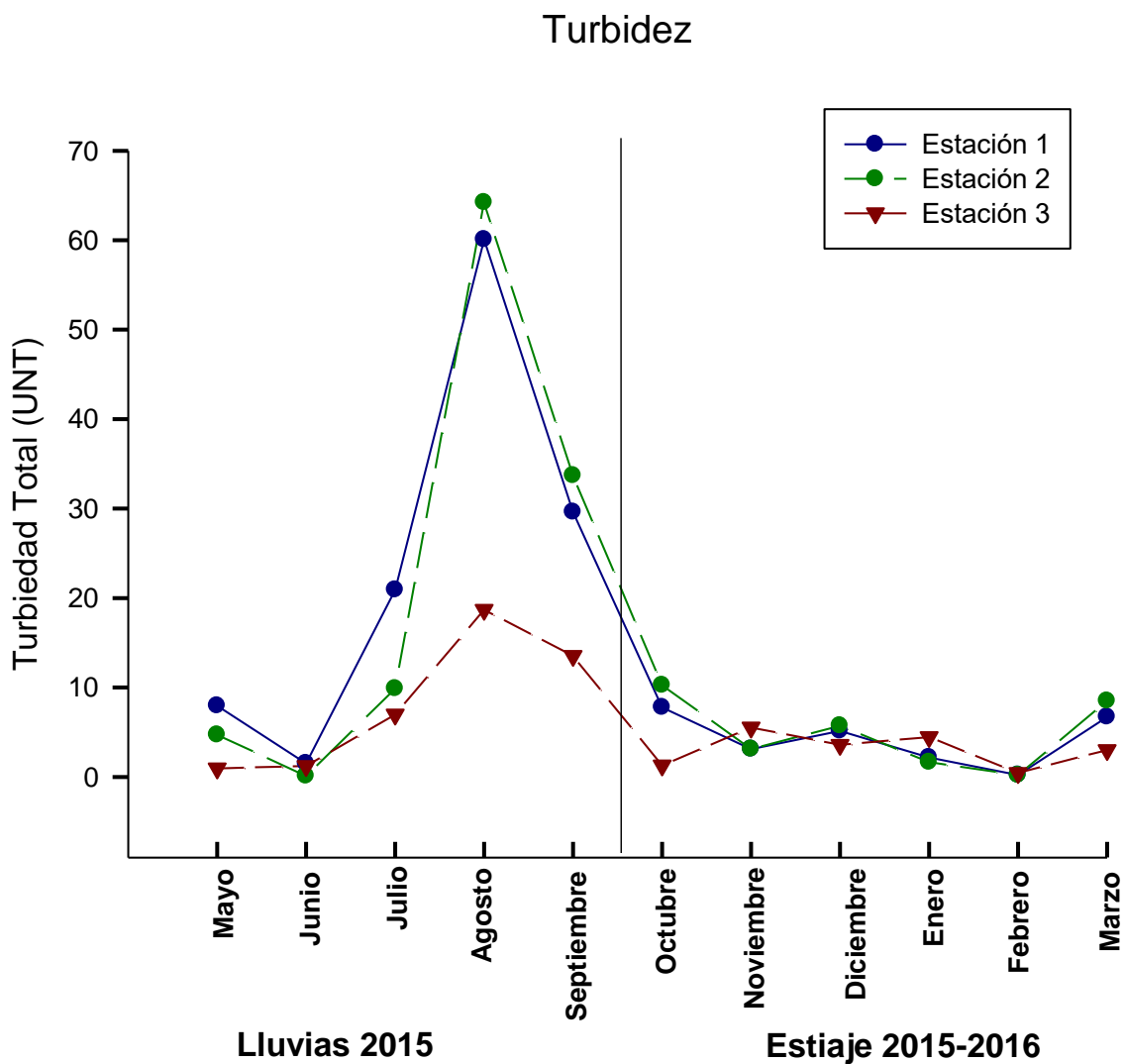
La gráfica 7 muestra los valores de clorofila total en un periodo anual en tres zonas del río Amacuzac, el valor más bajo se registra en el mes de octubre, en época de estiaje con 0.15  $\mu\text{g/L}$  en la estación 3, además esta estación presenta los valores más bajos en general para todo el año, el valor más alto se registra en la estación 1, en enero de 2016, con 6.19  $\mu\text{g/L}$ .



Gráfica 7. Determinación de Clorofila-a Total ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

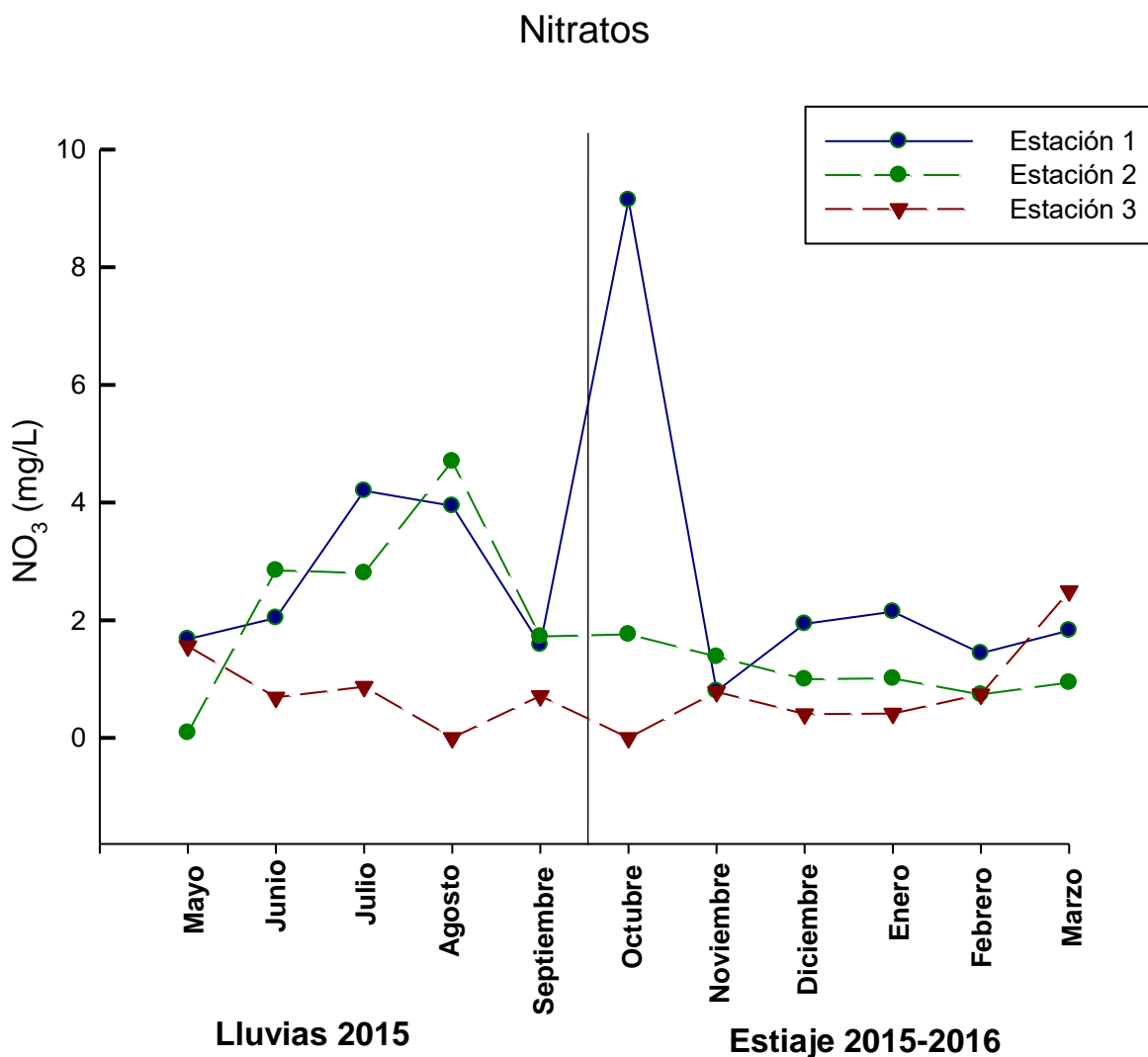


En la gráfica 8 observamos los valores de turbidez en un periodo anual, en tres estaciones del río Amacuzac, en donde se observa un pico para las estaciones 1 y 2, son los valores máximos de los que se tiene registro para el año de muestreo con 60.07 UNT y 64.22 UNT respectivamente, el valor más bajo es de 0.19 UNT en febrero en la estación 2, en la época de estiaje se observa que el comportamiento fue similar en las tres estaciones.



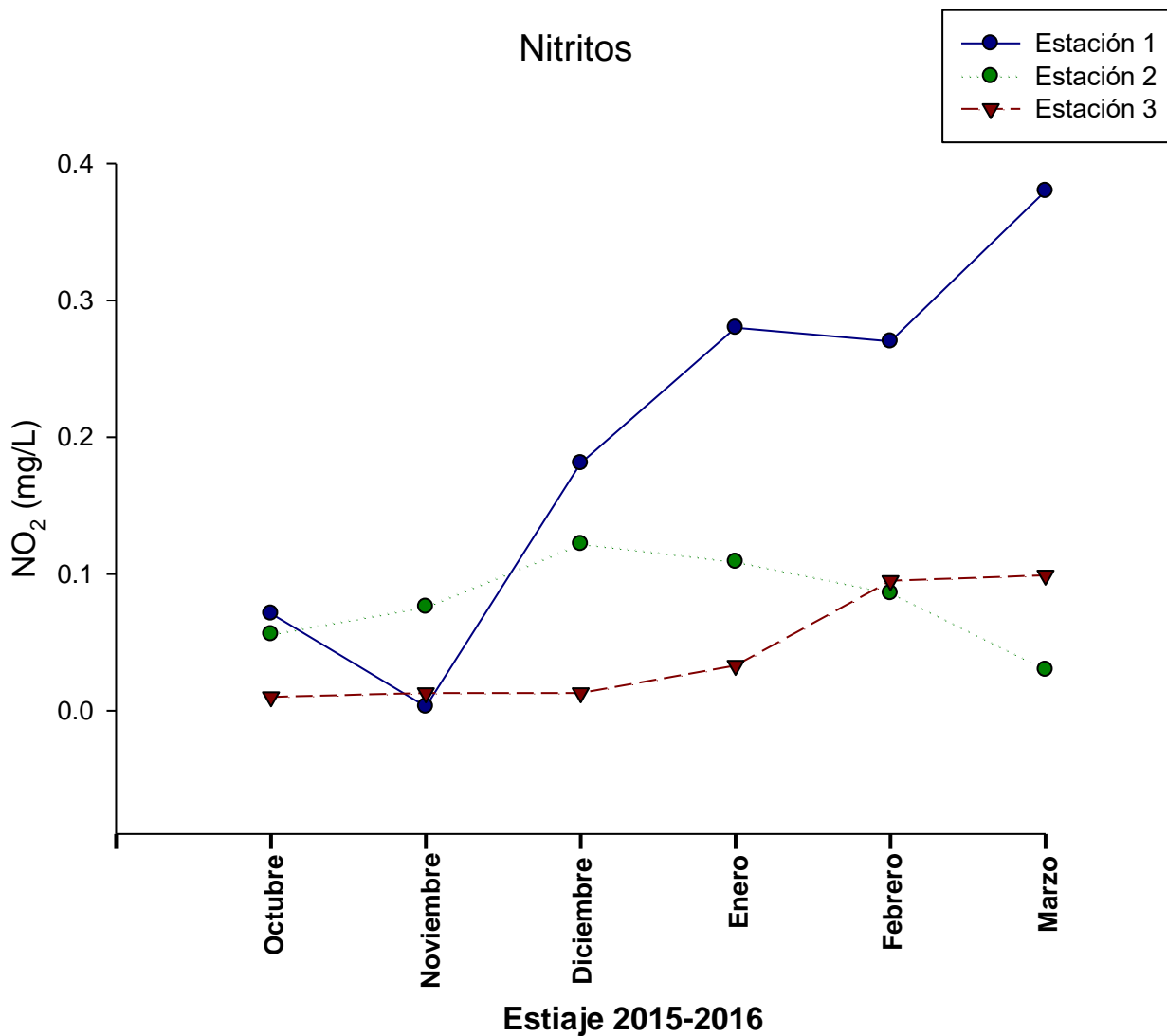
Gráfica 8. Determinación de Turbiedad Total (UNT) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

La gráfica 9 muestra los resultados de nitratos obtenidos en un periodo anual, en tres estaciones del río Amacuzac; el mes de octubre en la época de estiaje presenta el valor más elevado registrado en el muestreo, con 9.14 mg/L, mientras que el valor más bajo se registró fue de 0.40 mg/L en la estación 3, también en el mes de octubre.



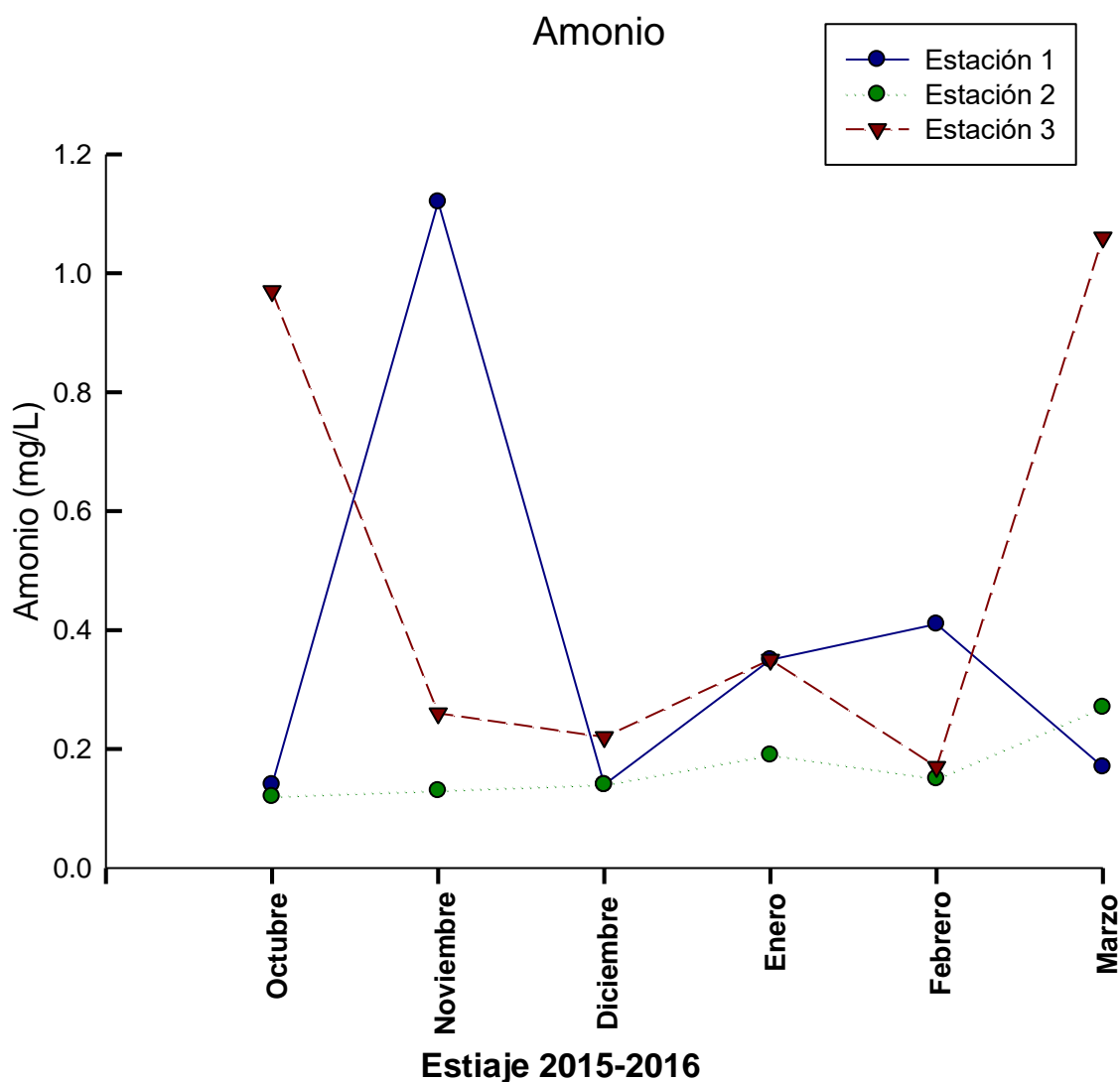
Gráfica 9. Determinación de Nitratos (mg/L) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

Los valores de nitritos obtenidos en tres zonas del río Amacuzac en la época de estiaje se pueden observar en la gráfica 10, la estación 1 presenta el valor más bajo con tan solo 0.003 mg/L, además, a partir de ese punto aumenta paulatinamente hasta los 0.371 mg/L, siendo este último el valor más alto registrado.



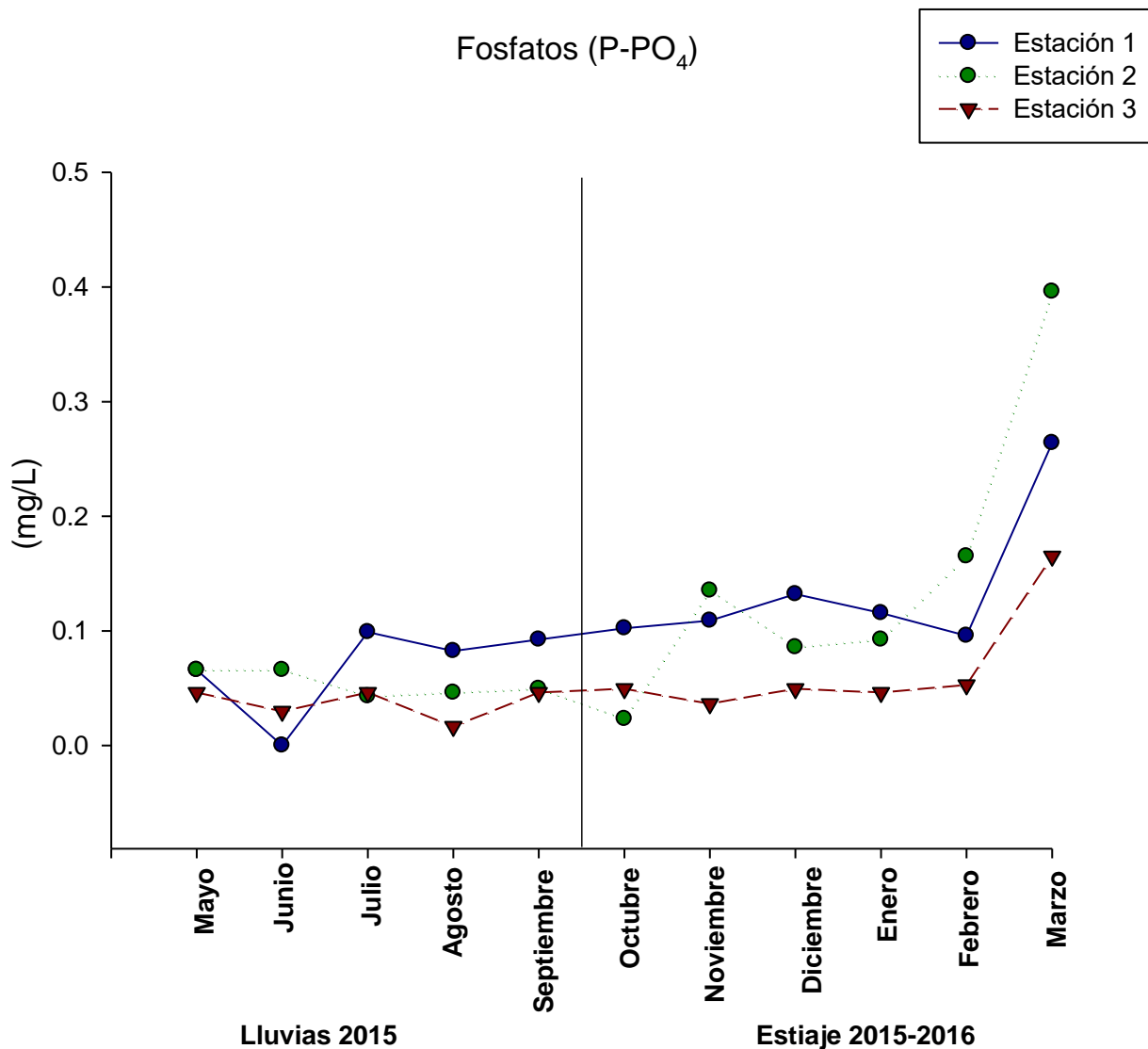
Gráfica 10. Determinación de N-NO<sub>2</sub> (mg/L) en el periodo semestral (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

Los resultados de amonio tomados en tres zonas del río Amacuzac, en la época de estiaje se pueden observar en la gráfica 11, la estación 2 en octubre registra el menor valor (0.117 mg/L), además se observa un comportamiento homogéneo a lo largo de esta temporada, en la que se presentan los valores más bajos. Los valores más altos se registraron en los meses de noviembre para la estación 1 y marzo para la estación 3 con 1.129 mg/L y 1.051 mg/L respectivamente.



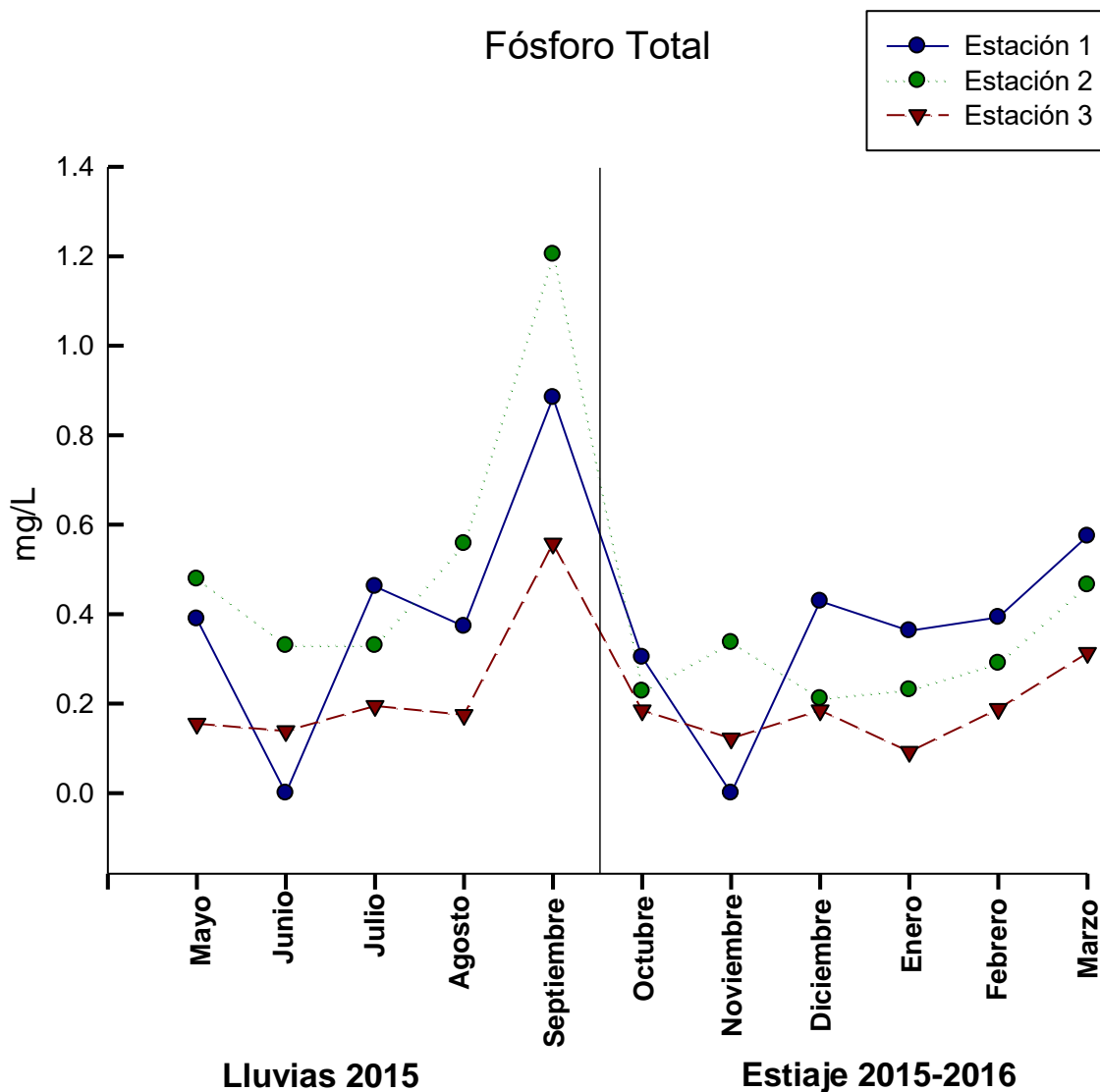
Gráfica 11. Determinación de  $N-NH_4$  (mg/L) en el periodo semestral (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

Los valores de fosfato a lo largo del año en tres zonas del río Amacuzac se muestran en la gráfica 12, el valor más bajo se tiene registrado en la estación 3 en el mes de agosto con 0.0165 mg/L correspondiente al inicio de la época de estiaje, el más alto se tiene registrado en la misma época para la estación 2 con 0.165 mg/L, cabe destacar que en el mes de marzo, todas las estaciones tienen los valores más altos registrados.



Gráfica 12. Determinación de Fosfatos (mg/L) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

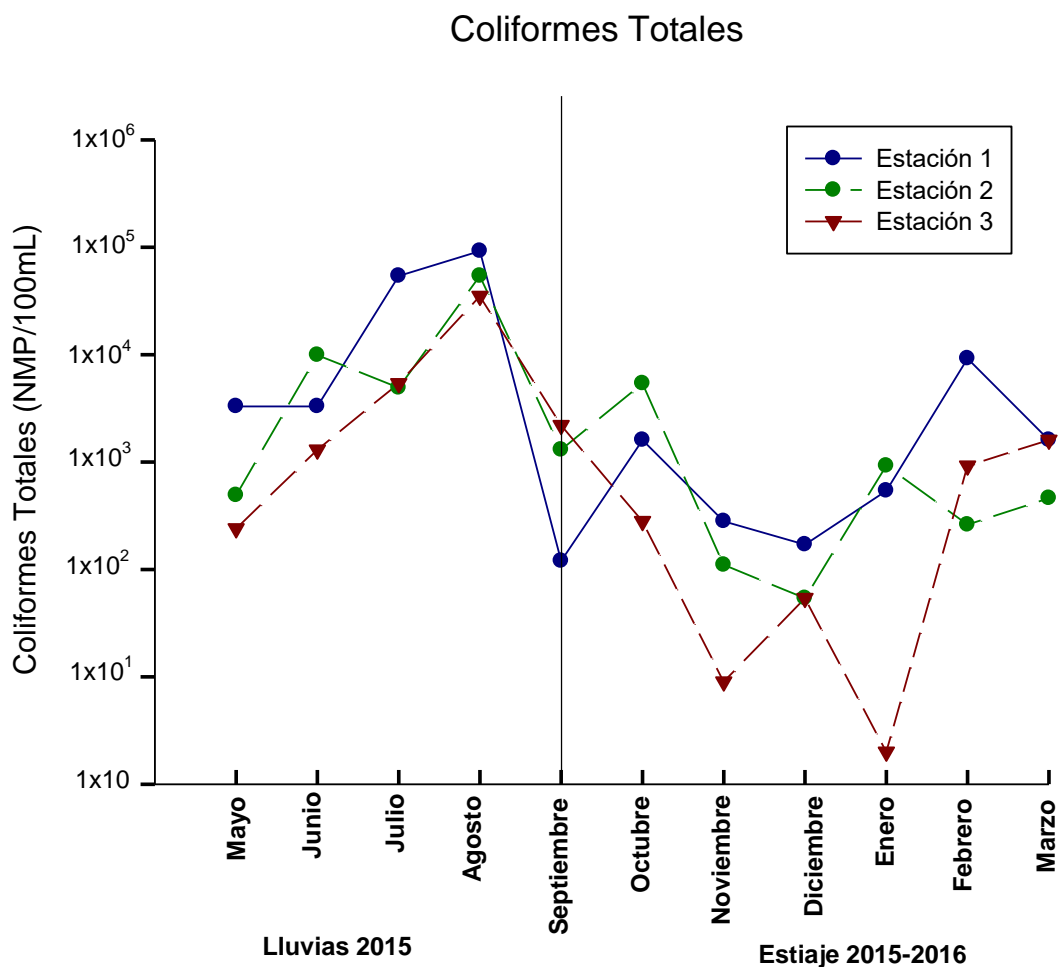
En la gráfica 13 se observa el comportamiento anual en tres zonas del río Amacuzac de fósforo total, en enero, época de estiaje, la estación 3 tiene el valor más bajo registrado con 0.092mg/L, en general los valores tienen un comportamiento similar, excepto el mes de septiembre al inicio de la época de estiaje donde se incrementan en todas las estaciones, registrándose los más altos, el mayor se observa en la estación 2 con 1.204 mg/L.



Gráfica 13. Determinación Fósforo Total (mg/L) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

### 8.3 Resultados de muestras biológicas

Los valores de coliformes totales en un periodo anual en tres zonas del río Amacuzac se ven representados en la gráfica 14, las cuentas más bajas se registran en el mes de enero en época de estiaje con tan solo un valor de 20 NMP en la estación 3, contrastando con los 920,000 NMP obtenidos en la estación 1 en el mes de agosto, correspondiente a la época de lluvias, en ese mismo mes se destaca que todas las estaciones tienen sus máximos registrados.



Gráfica 14. Determinación de Coliformes Totales (NMP/100mL) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

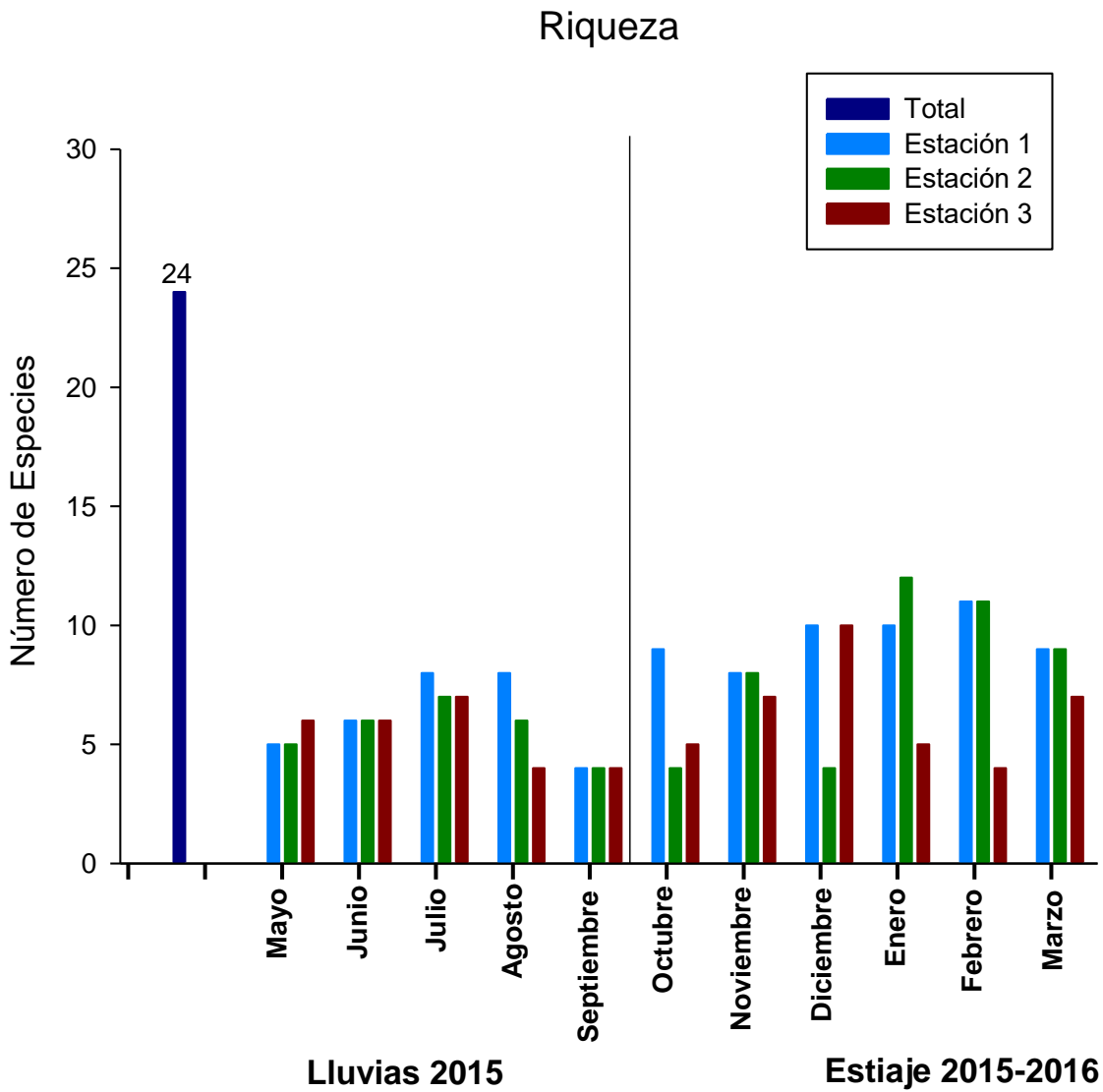




Especies	El Estudiante												Localidad Chisco												Tehuixtla											
	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M			
<b>Diatomeas (Cels/L)</b>																																				
<i>Ulnaria oxyrhynchus</i>													1															3								
<i>Synedra gouldarii</i>		2																			2									7						
<i>Amphipleura lindheimeri</i>		4																				8				1			2	3						
<i>Fragilaria capucina</i>																		7										8	3							
<i>Pleurosigma salinarum</i>								6					1									8	7							4						
<i>Gomphonema acuminatum</i>		2						1														1	25									8				
<i>Gomphonema olivaceum</i>													3		8								30						4							
<i>Cymbella affinis</i>		12	8					11	10					4								6														
<i>Ulnaria gouldarii</i>	63																					1														
<i>Cocconeis pediculus</i>				7		7	11	17				38												8			9		4							
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>			9	6			2		14	21	22		3						9	15					12	4				13						
<i>Tabularia fasciculata</i>			9							20	74										12		38								9					
<i>Amphora copulata</i>			9	8	8	12	2	22	5		63										18			6		4					7					
<i>Amphora sp 1</i>					8	6		11		11	9					14	6	6			10	71			6								18			
<i>Cocconeis placentula</i>	38					15		15	11				13	15	33		6				18				7					7						
<i>Fragilaria crotonensis</i>	113											38	4				7						19													
<i>Navicula subminuscula</i>						6		17			34					8	18		6		12	14				9	10	14	14		28	20				
<i>Nitzschia sp 1</i>			9				15				15	69				12	15		16		41	11	4		8											
<i>Navicula gracilis</i>					9		9	15	5	15	10	75		14							13	17						15					14			
<i>Navicula mutica</i>	138		18	11						8	24	0													18											
<i>Nitzschia sp2</i>	106			10	8	16	7		11	6		13					6	7	10	9				13	15			12		15	32	17				
<i>Cocconeis scutellum</i>	94	10									28	24			10			4		35	22	57					9		10			13				
<i>Navicula subrhynchocephala</i>	13		9	6		14	8		45	38	14				21			16		7	8	27			15			48	8	14	17					
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	63			13				22	17	15	15			13	22		13		9	18		16	69		7	9		9	18	12	12					
<i>Nitzschia amphibia</i>	38	12	9	15		13		22		60			15			12		6		35	17	8	113	9		8	12	11	17							
Otros organismos encontrados																																				
<i>Arthrospira sp</i>																																				
<i>Lyngbya sp</i>																																				
<i>Merismopedia cf glauca</i>																																				
<i>Merismopedia cf punctata</i>																																				
<i>Oscillatoria sp 1</i>																																				
<i>Oscillatoria sp 2</i>																																				
<i>Oscillatoria sp 3</i>																																				
<i>Planktothrix cf mugeotii</i>																																				
<i>Planktothrix perornata</i>																																				
<i>Planktothrix cf planctonica</i>																																				
<i>Pseudanabaena sp1</i>																																				
<i>Pseudanabaena sp2</i>																																				

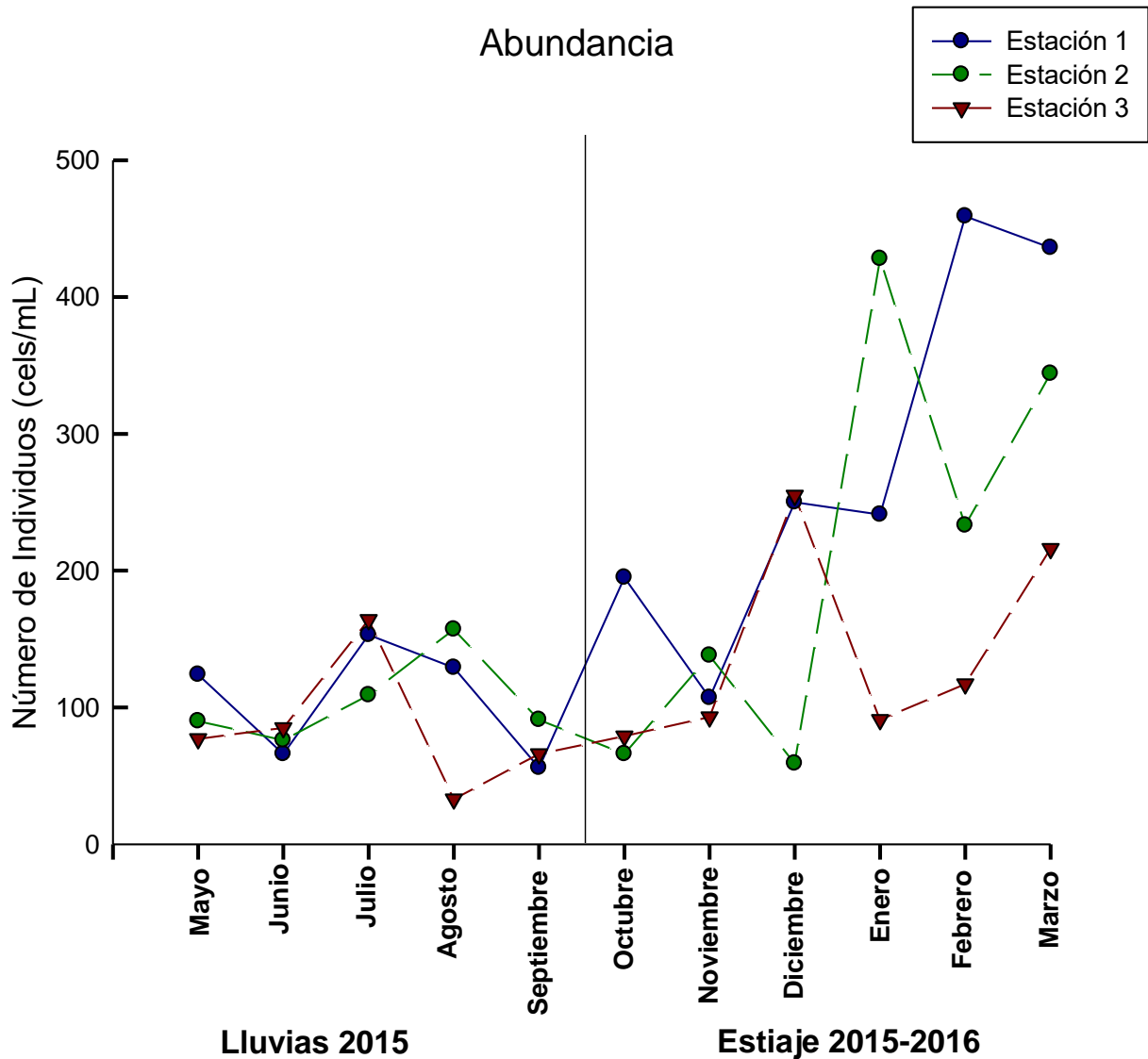
Cuadro 1: Conteo de organismos (cels x mL) en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

En la gráfica 16 se observa el total de 24 especies obtenidas en un periodo anual en tres zonas del río Amacuzac; enero tiene el mayor registro con 9 especies en la estación 2 en época de estiaje, los valores menores se registran en el mes de septiembre correspondiente a época de lluvias con 5 especies en las tres estaciones.



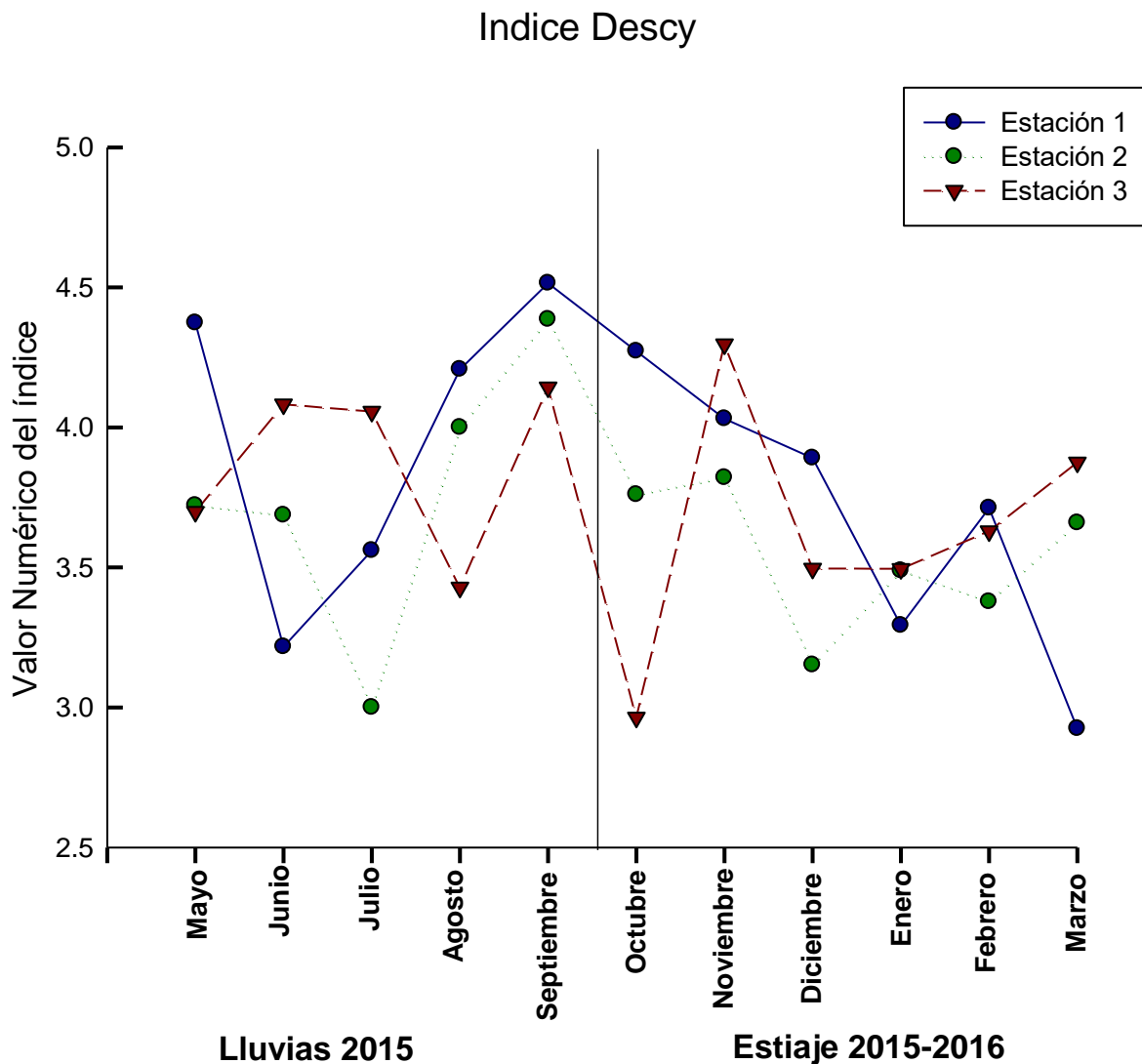
Gráfica 16. Riqueza de especies en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

Se observa que en la época de lluvias la abundancia en un periodo anual en tres zonas del río Amacuzac (gráfica 17), registra el menor número de individuos en la estación 3 con 34 organismos, mientras que el mayor número se obtuvo en época de estiaje en el mes de febrero con 458 organismos en la estación 1.



Gráfica 17. Abundancia de organismos en un periodo anual (2015-2016) en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

En la gráfica 18 se observan los valores correspondientes al índice de Descy (1979) en un periodo anual en tres zonas del río Amacuzac, donde se muestra que en el mes de marzo la estación 1 registra un valor alto en cuanto a presencia de materia orgánica con un valor de 2.9 en época de estiaje, la misma estación pero en el mes de septiembre registra el valor más alto con 4.5 que representa un menor grado de contaminación orgánica.



Gráfica 18. Índice Descy 1979 para el periodo comprendido de mayo 2015 a marzo 2016 en tres estaciones del río Amacuzac (urbana, agrícola y turística).

## 9.- DISCUSIÓN

Con base en la metodología Delphi, y de acuerdo a Dinius (1987), los parámetros físico-químicos dan una información extensa del estado trófico de un cuerpo de agua y entre los parámetros más utilizados se incluyen, la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), oxígeno disuelto (OD), coliformes fecales, nitratos ( $NO_3$ ), pH, cambio de temperatura, sólidos disueltos totales (SDT), fosfatos totales y turbiedad. Por otro lado los métodos biológicos aportan información sobre la calidad del agua, pero no señalan nada puntual acerca del o los contaminantes responsables, es por esa razón que muchos investigadores recomienda la utilización de ambos en la evaluación de la calidad de agua (Samboni Ruiz *et al.* 2007).

De acuerdo con lo anterior y los objetivos planteados en este trabajo se buscó determinar la relación entre algunas condiciones fisicoquímicas de los sitios de estudio, con la presencia y abundancia de diatomeas, además de determinar la calidad del agua comparando características físicas, químicas y biológicas mediante análisis específicos. Se analizaron 33 muestras de fitoplancton en total, además de 11 muestras por cada una de las diferentes variables fisicoquímicas.

En este trabajo se midió *in situ* el pH que va desde los 5.5 (unidades de pH) hasta los 8.2 (unidades de pH) (Gráfica 1), en este intervalo las diatomeas se ven favorecidas ya que el desarrollo de estos organismos se da en ámbitos de 5.5 a 8.9, de acuerdo al trabajo de Mora *et al.* (2015) la diversidad diatomológica se confirma con valores de pH en su mayoría alcalinos; géneros como *Nitzschia* y *Amphora* se encuentran en condiciones de alcalinidad. Por otra parte de acuerdo al criterio ecológico (CE-CCA-001/89), el agua para consumo humano va de 5.5 a 9.0 de pH, con estos datos observamos que no existe riesgo para consumo humano.

De acuerdo a los criterios ecológicos del agua se requiere un mínimo de 5 mg/L de oxígeno disuelto (OD) para la supervivencia de organismos, de acuerdo con el

trabajo de (Stulzer, 2017) la estación 1 y 2 presentaron valores que van desde los 5.64 mg/L hasta los 9.98 mg/L para la época de lluvias (Gráfica 2), esto puede deberse a las características propias de la época en donde las sustancias orgánicas y otros contaminantes son depositados y diluidos con mayor facilidad, además de que la turbidez fue muy alta en la época de lluvias lo que ocasiona directamente una disminución de oxígeno en el cuerpo de agua. En la época de estiaje estas dos estaciones presentan valores que van de los 7.14 hasta los 15.34 mg/L de OD, el aumento tan abrupto puede ser influenciado por la época de estiaje donde el cauce y la velocidad de corrientes se reducen considerablemente y la fotosíntesis es más activa; en el caso de la estación 3, ésta presenta en la época de secas valores que van desde 2.97 mg/L hasta los 10.23 mg/L, se tienen registros de aguas termales cercanas al lugar lo que puede influir en el comportamiento de la estación a lo largo de la época de lluvias, para la época de estiaje los valores obtenidos están por debajo de los 5 mg/L, lo que puede relacionarse directamente con la temperatura, que se incrementó en la estación 3 durante esos meses, en el mes de enero hay un crecimiento abrupto del oxígeno disuelto llegando a 15 mg/L y como se mencionó antes se observó un bajo caudal del río.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en su apartado Guías para la calidad del agua potable (1995), menciona que el límite de turbidez del agua para consumo humano es de 5 unidades nefelométricas de turbidez (UNT), en la gráfica 8 se observa que en las zonas de muestreo el 48.48% de las 33 muestras obtenidas están por debajo del límite. En la estación 3, se observó que siete valores están por debajo del límite permitido, cabe destacar que la estación 3 tiene el menor promedio de turbidez en general. Por otro lado en las estaciones 1 y 2, se detectan valores más altos de turbidez en el periodo de muestreo, con valores que llegan de 60 y 64.22 NTU respectivamente en la época de lluvias. En general el 51.52% de las muestras superan el límite permitido, con base en esto y de acuerdo con Marcó (2004) se puede observar una clara relación entre la turbidez y los coliformes (Gráficas 14 y 15) ya que estos también tienen el valor más alto

registrado en el mes de agosto, además de que existen posibles descargas domésticas y el arrastre de sedimento provoca valores muy altos para ambos parámetros, otro dato importante es que en el mes de agosto todos los coliformes fueron fecales, teniendo un máximo de  $1 \times 10^5$  NMP lo que apoya la idea de que existen descargas de asentamientos urbanos y agrícolas.

La conductividad (Gráfica 4) de acuerdo con el trabajo de Mullor Real (2017), el valor normal establecido para aguas naturales es de 100 a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , aunque en ocasiones puede excederse ese rango de forma natural, además de acuerdo a la tabla de mineralización de Rodier (1981), el cuerpo de agua estudiado tiene una mineralización que va de media a elevada, la estación 3 alcanza valores mayores a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , su alta conductividad puede deberse a que también es la estación con la temperatura más alta registrada ya que estas variables se relacionan directamente, además del material arrastrado, diluido y depositado durante la época de lluvias (en su mayoría calizas), trae como resultado que la mayor parte del año la conductividad en esta estación sea muy alta. La estación 1 es la que tiene el menor promedio de conductividad, esto va ligado directamente a la temperatura ya que es la estación menos cálida; en la estación 2, la conductividad y mineralización va de media (época de lluvias) a moderada (época de secas) esto debido a las actividades antropogénicas del lugar (zona agrícola), ya que la lluvia puede arrastrar sustancias de los fertilizantes en la zona.

La CONAGUA en su estudio Monitoreo de Calidad del Agua (2016), clasifica en 5 rangos los valores de  $\text{DBO}_5$ : excelente ( $< 3 \text{ mg}/\text{L}$ ), buena calidad (3 a 6  $\text{mg}/\text{L}$ ) aceptable (6 a 30  $\text{mg}/\text{L}$ ) contaminada (30 a 120  $\text{mg}/\text{L}$ ) y fuertemente contaminada ( $>120 \text{ mg}/\text{L}$ ). En nuestro estudio, los valores obtenidos, contrario a lo que se esperaba 11 de 33 (33.33%) resultados se encontraron dentro del rango de excelente, 9 de 33 (27.27%) se encuentran en el rango de buena calidad, 12 de 33 (36.36%) en el rango de aceptable y solo un valor (3.03%) en el mes de agosto en la estación 2 se encuentra en el rango de contaminado, los valores de  $\text{DBO}_5$ , son más altos en época de lluvias, esto indica, de acuerdo a Ortega-Murillo (2013) un

mayor consumo de oxígeno disuelto para degradar la materia orgánica, además menciona que valores mayores a 10 mg/L rebasan la cantidad máxima de oxígeno que puede estar disuelto en el agua, indicando una situación de tensión. De acuerdo a lo descrito por Margalef (1983), la concentración y el gradiente a lo largo de un río va en función de la dilución del aporte de contaminación al río, del flujo y de la re aireación, la cual se ve afectada por la velocidad del agua, o de la pendiente y profundidad del cauce. En nuestro trabajo el 21% de los resultados obtenidos están por encima de este límite y sucede en época de lluvias, el caso contrario se presentó en la época de estiaje, en donde se tienen valores más elevados de oxígeno disuelto y se presentan valores bajos de DBO<sub>5</sub>, a su vez, el fitoplancton se presenta en mayor cantidad, por lo que se incrementa la actividad fotosintética y producción de más oxígeno. Comparando los resultados, los valores de oxígeno disuelto son tan elevados como lo reportado en el río La Antigua, en el cual el valor promedio de la concentración del oxígeno disuelto fue 8.9 mg/L y llegando a registrarse un valor de 15.1 mg/L; estos valores corresponden a cuerpos de agua medianamente profundos con movimiento turbulento (Ramírez-García, 2015, sección 3).

Conforme a los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 (SEDUE, 1989), el límite permisible para los valores de nitratos es de 5 mg/L, en el presente estudio solo un valor estuvo fuera de este rango en el mes de octubre para la estación uno. Sin embargo la **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994**, menciona que el límite para consumo humano es de hasta 10 mg/L, las aguas no contaminadas presentan valores menores a 5 mg/L. La presencia de altos valores de nitratos en la estación 1 indica que en ese sitio puede estar presente una descarga urbana sobre el efluente ya que los coliformes fecales llegan a los  $17 \times 10^5$ , sin embargo el resto del periodo estudiado no sobrepasan los límites establecidos en los criterios ecológicos del agua y las normas oficiales mexicanas.

Los valores de nitritos solo se observaron durante la época de estiaje (Gráfica 10), los nitritos (NO<sub>2</sub>) se derivan del amonio (NH<sub>4</sub>) y a su vez estos derivan en nitratos (NO<sub>3</sub>), la descripción del proceso es el siguiente:  $(\text{NH}_4^+ + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O})$  ( 2



$\text{NO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3$ ), es un proceso de transformación de la materia orgánica muy complejo, en el que participan bacterias oxidantes (nitro bacterias) (De Miguel-Fernández *et al.* 2006) y en aguas bien oxigenadas los valores de nitritos deben no superar los 0.1 mg/L. En este estudio, solo en la época de estiaje la mayoría de los datos obtenidos (72%) está por debajo del valor de 0.1 mg/L, no así en la estación 1, la cual presenta los valores más altos de diciembre de 2015 a marzo de 2016; al ser una zona urbana, es posible que existan descargas puntuales, ya que la presencia de nitritos es indicativo de contaminación fecal reciente.

El amonio (Gráfica 11) al igual que los nitritos solo se determinaron durante la época de estiaje, y en general los valores son más altos y coinciden con la disminución del caudal en los ríos (Díez-Mayáns *et al* 2003), aunque en este estudio el 83% de los resultados obtenidos están por debajo de los 0.50 mg/L que marca la **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994**, solo 3 valores están por arriba del límite; en la estación 2 (zona agrícola), la cual puede aportar amonio al río si se utilizan fertilizantes nitrogenados, sería una de las causas del aporte de nitrógeno al sistema, si consideramos que las aguas poco oxigenadas pueden contener concentraciones superiores a 0.5 mg/L, como es el caso de la estación 3 en los meses de noviembre y marzo, en donde se registraron valores bajos de oxígeno disuelto (Galvín, 2008).

Los fosfatos (Gráfica 12), cloruros y nitritos son indicadores típicos de contaminación residual doméstica vertida a un cauce natural (Galvín, 2008), ya que la alta concentración de estos promueve el crecimiento de ciertos organismos y conlleva a la eutrofización del cuerpo de agua. En los resultados de este estudio, los fosfatos en general son altos, las estaciones 1 y 2 presentan los valores de 0.165 mg/L y 0.396 mg/L, que pertenecen a una zona urbana y zona agrícola respectivamente, los valores máximos para ambos se presentan en marzo en época de estiaje, lo que nos indica que existen descargas en la zona urbana, además del uso de detergentes fosforados relacionados con actividades de limpieza doméstica en el margen del río, en la estación 2.

En lo que a fósforo total se refiere (Gráfica 13), el valor máximo para este parámetro es de 0.005 mg/L, esto indica que un cuerpo de agua no está contaminado (Rivas *et al* 2009, tomado de Wetzel, 1981) en este trabajo, cabe destacar, que de las 33 muestras obtenidas, el total está por encima de ese límite, las tres estaciones muestreadas tienen sus máximos al final de la época de lluvias en el mes de septiembre (0.884 mg/L), (1.204 mg/L) y (0.557 mg/L), los valores altos de fósforo total nos indican que en la zona urbana existen descargas al río, las cuales aumentan los niveles de nutrientes, además del arrastre de materia orgánica durante los meses de lluvia; en el caso de la estación 2, la concentración alta de este nutriente se debe a las actividades antropogénicas en el sitio, debido a que en parte de la ribera se vierten detergentes fosforados, aunado al arrastre de fertilizantes con altas concentraciones de nitrógeno y fósforo. Aun cuando no hay valores específicos para sistemas lóticos se pueden tomar como referencia los criterios ecológicos del agua (SEDUE 1989), donde el valor máximo para la concentración de fósforo total es más laxo con 0.05mg/L en influentes a lagos o embalses y de 0.025 mg/L dentro de lagos o embalses, esto con la finalidad de prevenir el crecimiento de microorganismos y controlar la eutrofización.

Los resultados de clorofila-*a* (Gráfica 7) obtenidos para este estudio, registran los valores más altos durante la época de estiaje, en la estación 1 en el mes de enero con 6.8 µg/L; a partir de octubre 2015 y hasta enero febrero 2016 se ve un claro aumento de este parámetro, en este periodo la turbidez del agua es más baja y permite mayor paso de la luz para la fotosíntesis de los organismos, además de que las estaciones 1 y 2 presentan también grandes cantidades de nutrientes favoreciendo el crecimiento de los microorganismos, esto coincide con el trabajo de Bonansea (2012), el menciona que la clorofila-*a* depender de la concentración de nutrientes (NT y FT), penetración de la luz y la temperatura del agua. Por otra parte aun cuando la temperatura era baja en la estación 1, en los meses más fríos, mantienen un rango admisible para la proliferación de organismos.

La clorofila *in vivo* (Gráfica 6) nos da una información relativa sobre la distribución de la concentración de clorofila en los sitios de muestreo, se obtuvieron valores en unidades de fluorescencia relativa (UFR), cuyo valor más alto se registró en la estación 1 en la época de estiaje con 71.03 UFR. La fluorescencia es un porcentaje pequeño y variable de la luz absorbida por los fotosistemas y la capacidad de la clorofila para absorber luz también es variable, las características de absorción de luz *in vivo* de las células del fitoplancton depende de la composición de pigmentos como lo describe en su trabajo Reta (2010), aunque el autor realiza un estudio en agua marina menciona que la turbidez va estrechamente relacionada con la intensidad de fluorescencia, en el presente trabajo observamos esa relación, ya que a niveles máximos de fluorescencia (URF) la turbidez en la estación fue baja, logrando una mayor absorción de luz y poca dispersión de la misma.

En este estudio se registraron 25 especies de diatomeas y 11 especies de cianofíceas, el nivel de riqueza (Gráfica 16) más bajo se obtuvo en el mes de septiembre, al final de la época de lluvias, con la presencia de tan solo 5 especies, mientras que la más alta se dio en enero en la época de estiaje. La abundancia (Gráfica 17) en las zonas de estudio nos muestra que en la estación 3, con tan solo 34 organismos (cels/ml) es en la que presentó el menor número de organismos durante el mes de agosto en la época de lluvias; mientras que en la estación 1 en el mes de febrero se cuantificaron 458 organismos (cels/ml). Tanto la riqueza como la abundancia de los organismos obtenidos tuvieron una clara tendencia a incrementarse conforme avanzaron los muestreos, de la época de lluvias a la época de estiaje. Cuando se tienen bajas cuentas de organismos en época de lluvias y a pesar de que el cuerpo de agua se mantiene con buena oxigenación, otros factores como la turbidez alta, impiden el paso de luz y limitan la actividad fotosintética de los organismos. Ortega-Murillo (2013) menciona que en ambientes lóticos las variables a considerar son turbidez, velocidad de corriente, oxígeno disuelto y su grado de disolución, además y a pesar de tener alto contenido de nutrientes, estos se ven limitados, y en nuestro caso a las altas

cuentas de coliformes que se registraron durante la época de lluvias, debido a las descargas propias del lugar y el arrastre de materiales y materia orgánica en distintos puntos del río. La temperatura de las estaciones en general se presentó por arriba de los 22° C, la cual es ideal para el desarrollo de microalgas y bacterias. En la época de estiaje la gran cantidad de nutrientes favorece el crecimiento de las microalgas, especies como *Fragillaria capuccina* y *Rhoicosphenia abbreviata*, se presentaron en meses con altas concentraciones en nitratos y nitritos, de lo cual hace mención Días-Quiroz (2004), también hace referencia a la presencia de *Fragillaria capuccina* en sitios con conductividad alta, lo cual coincide con este trabajo ya que se presenta en los meses de septiembre y octubre en la estación 3 y en la cual se registró el mayor promedio de conductividad, aunado a esto en la época de estiaje, con bajos valores de turbidez, favoreció una mayor actividad fotosintética.

Asimismo en nuestro estudio se utilizó el índice de Descy (1979), que de acuerdo a Bellinger (2015) se puede relacionar a las diatomeas con la calidad del agua. De acuerdo a Michels, A. 1998 (tomado de Lange-Bertalot 1979) estos organismos se clasifican de acuerdo a su resistencia a la contaminación y se dividen en tres niveles: sensibles, tolerantes y muy tolerantes; en este estudio se relacionaron con niveles tolerantes a *Cocconeis placentula* y *Nitzschia amphibia* y a *Fragillaria capuccina* como muy tolerante. El índice de Descy (1979), además de relacionar a estos organismos con la calidad del agua, también se basa en el contenido de nutrientes, que utiliza Kelly, en un trabajo reportado en 1998, y quien le asigna a las diatomeas un valor de  $s_j$  y  $v_j$  que aplica en la fórmula propuesta por Descy (ver anexo); en este trabajo se realizó un índice por cada muestreo mensual y para cada estación, obteniendo un total de 33 resultados de los cuales se dividen en 11 datos (33%) que corresponden a contaminación moderada, 21 datos (63.63%) corresponden a contaminación alta enriquecida con nutrientes y sólo 1 dato (3.03%) corresponde a contaminación severa, de los cálculos del índice resultan valores numéricos de 1 a 5, donde los ámbitos de 1.0 a 2.0 indican una contaminación severa y solo unas pocas especies muy tolerantes sobreviven, de

2.0 a 3.0, indica una fuerte contaminación, solo las especies resistentes sobreviven y las especies sensibles quedan dentro del ámbito de 3.0 a 4.0, esto refleja la presencia de una alta contaminación. El intervalo de 4.0 a 4.5 indica una contaminación muy leve en donde se presenta una mayor diversidad de especies. Por arriba 4.5, no hay presencia de contaminación e indica la mejor calidad desde un punto de vista biológico.

## 10. CONCLUSIONES

- Los parámetros fisicoquímicos analizados en el Rio Amacuzac indican una fuerte contaminación durante la época de lluvias, en esa época los valores de DBO<sub>5</sub> rebasaron los 30 mg/L.
- Los coliformes totales y fecales exceden por mucho los valores normales establecidos en el criterio ecológico del agua y las normas oficiales mexicanas, ya que alcanzan valores de hasta  $9 \times 10^5$ .
- La estación más contaminada fue la 1 a lo largo del periodo de muestreo, esta pertenece a una zona urbana y se observan los valores más altos en la mayoría de parámetros y puede estar asociado a las descargas directas en el río.
- La mayor diversidad de especies se presenta en época de estiaje, ya que los valores de oxígeno disuelto, temperatura y turbidez, favorecen el crecimiento de organismos.
- El fósforo y los derivados del nitrógeno (nitritos y nitratos) son los nutrientes más importantes para las especies identificadas, mientras más altos eran los valores de estos nutrientes, mayor era la diversidad y abundancia de las especies.
- Los resultados del índice de Descy reflejan que las zonas de muestreo no existe contaminación muy alta, ya que el 90% de los resultados se mantienen por encima de 3.0
- La estación 1 tiene el mayor número de organismos registrados con 458 cels/ml

Se identificaron un total de 25 especies de diatomeas.

- *Nitzchia amphibia* es la especie más dominante, ya que se ve favorecida por las condiciones del lugar.
- Es necesario hacer mediciones de amonio, nitritos y nitratos durante todo el periodo de muestreo.
- Sería conveniente incluir parámetros como: sólidos totales y sólidos disueltos, medir la velocidad de la corriente y hacer el muestreo en ambas márgenes del río y en la zona central.

## 11. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. In *IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA)*. Almería (Vol. 2, pp. 203-213).
2. Alcocer, J., M. Merino-Ibarra, E. Escobar-Briones. (Editores). 2015. *Tendencias de investigación en Limnología tropical: Perspectivas universitarias en Latinoamérica*. Asociación Mexicana de Limnología, A.C., Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México. ISBN 978-607-02-7199-1.
3. Apha, A. (1995). WPCF, Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA*.
4. Bellinger, E. G., & Sigeo, D. C. (2015). *Freshwater algae: identification and use as bioindicators*. John Wiley & Sons.
5. Bonansea, M., Ledesma, C., Rodríguez, C., & Sánchez Delgado, A. R. (2012). Concentración de clorofila-a y límite de zona fótica en el embalse Rio Tercero (Argentina) utilizando imágenes del satélite CBERS-2B. *Ambiente & Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 7(3).
6. Boney, A. D. 1975. Phytoplankton. In *The Institute of Biology's Studies in Biology*. No. 52. Edward Arnold, London. 116 p.
7. Carrillo, G., & Villalobos, R. (2011). Análisis comparativo de los índices de calidad del agua (ICA) de los ríos Tecolutla y Cazones en el periodo Marzo-Diciembre 2010. *Universidad Veracruzana*.
8. Conagua, S. (2015). Atlas del Agua en México 2015.
9. Conagua, S. (2016). Atlas del Agua en México 2016.

10. Cox, E. J. (1996). *Identification of freshwater diatoms from live material*. Chapman & Hall.
11. Daniel, T. F. (1999). *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán*. UNAM.
12. De la Lanza Espino, G., S. Hernández y J. S. Carbajal. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). SEMARNAP, CNA, IB, UNAM, P y V. México, D.F., 633 pp.
13. De la Lanza. E.G y García C.J.L 2002. Lagos y Presas de México. AGT Editor S.A. México. 680 pp.
14. De Miguel-Fernández, C., & Vázquez-Taset, Y. M. (2006). Origen de los nitratos (NO<sub>3</sub>) y nitritos (NO<sub>2</sub>) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería & Geología*, 22(3), 9.
15. Díaz-Quirós, C., & Rivera-Rondón, C. A. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia*, 26(2), 381.
16. Díez-Mayáns, C., & Bienes, R. (2003). Evolución de la contaminación por nitratos, nitritos y amonio en los ríos Henares, Tajuña, Jarama y Tajo de la Comunidad de Madrid. In *I Simposio nacional sobre el control de la erosión y degradación del suelo* (pp. 143-148).
17. Dinius, S. H. (1987). Design of an index of water quality. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 23(5), 833-843.
18. FEA, CEMDA; MEXICANA, Presencia Ciudadana. El agua en México: lo que todas y todos debemos saber. México, Centro Mexicano de Derecho Ambiental-Fondo Educación Ambiental-The Tinker Foundation-Presencia Ciudadana Mexicana-National Wildlife Federation, 2006.
19. Galvín, R. M. (2008). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. *Empresa Municipal de Aguas de Córdoba SA, Control de Calidad, Calidad*



y Medio Ambiente, Córdoba. Obtenido de [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi,48101](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi,48101).

20. Gobierno del estado de Morelos, México, (2018), recuperado de <http://morelos.gob.mx/?q=amacuzac>
21. Gómez-Gómez, M., Danglot-Banck, C., & Vega-Franco, L. (2010). Trabajo de revisión. *Rev Mex Pediatr*, 77(6), 260-270.
22. Kelly, M. G. (1998). Use of the trophic diatom index to monitor eutrophication in rivers. *Water research*, 32(1), 236-242.
23. Licursi, M, & Gómez, N. (2003). Aplicación de índices bióticos en la evaluación de la calidad del agua en sistemas lóticos de la Llanura Pampeana Argentina a partir del empleo de diatomeas. *Biología acuática*, 21, 31-49.
24. López-Mendoza, Z., Tavera, R., & Novelo, E. (2015). El fitoplancton de un canal de Xochimilco y la importancia de estudiar ecosistemas acuáticos urbanos. *TIP*, 18(1), 13-28.
25. Lugo Vázquez A. 2012. Consultado en: <http://www.amlac.mx/noticias/20121026.html>
26. Marchand Pajares, E. O. (2002). Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Lima Metropolitana.
27. Margalef, R. (1983). *Limnología* (Vol. 1009). Barcelona: Omega.
28. Mexicana, N. O. (1994). 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, México, Secretaría de Salud.*
29. Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & García, M. D. C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y

- distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). *Revista de Higiene y Sanidad Ambiental*, 4, 72-82.
30. Michels, A. (1998). Use of diatoms (Bacillariophyceae) for water quality assessment in two tropical streams in Costa Rica. *Revista de biología tropical*, 46 (6), 143-152.
31. Montejano G., Gold, M y Komárek, J. 1993. Freshwater epiphytic Cyanoprocaryotes from Cental Mexico. *Arch. ProtistenKd.* 143:237-247.
32. Mora, D., Carmona, J., & Cantoral-Uriza, E. A. (2015). Diatomeas epilíticas de la cuenca alta del río Laja, Guanajuato, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(4), 1024-1040.
33. Moreno-Ruiz, J.L., Tapia-García, M., González-Macías, Ma. C. y Figueroa-Torres, Ma. G. 2008. Fitoplancton del río Tehuantepec, Oaxaca, México y algunas relaciones biogeográficas. *Int. J. Trop. Biol.* 56(1):27-54.
34. Mullor Real, C. (2017). Estudio de la salinidad de las aguas de escorrentía en el entorno agrícola de los ríos Segura-Vinalopó.
35. OMS., O. P. A. S. (1995). *Guías para la calidad del agua potable*. Organization of American States, General Secretariat.
36. Ortega-Murillo, M. R., Martínez, N. D., Villanueva, R. A., Morales, R. H., Vásquez, M. A., Gómez, M. A., & Martínez, M. M. (2013). Fitoplancton de la región litoral del río Cupatitzio (Michoacán, México). *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 14(2), 57-66.
37. Parra, O. O. (1983). *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales: con especial referencia al fitoplancton de Chile* (Vol. 5). Universidad de Concepción.
38. Pulido, M. D. P. A., de Navia, S. L. Á., Torres, S. M. E., & Prieto, A. C. G. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3 (4).

39. Ramírez-García, P., Gaytán-Herrera, M, L., Cuna-Pérez, E., Martínez-Bonilla, J, F., (2015). Dinámica fitoplanctonica del río La Antigua, Veracruz, México, sección 3. Pag 145-153.
40. Reta, R. A. Ú. L. (2010). El ecosistema de la plataforma patagónica austral durante el verano, marzo-abril 2000. Estimación de la biomasa fitoplanctónica a partir de la distribución de clorofila a.
41. Rivas, Z., Sánchez, J., Troncone, F., Márquez, R., Ledo de Medina, H., Colina, M., & Gutiérrez, E. (2009). Nitrógeno y fósforo totales de los ríos tributarios al sistema Lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia*, 34(5), 308-314.
42. Rivera-Rondón, C. & Díaz Quiroz, C., 2004. Grandes taxones de fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos andinos. *Universitas Scientiarum* 9(1), Fasc. Especial: pp. 75 – 86.
43. Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación*, 27(3).
44. Stulzer, E. F., Villalobos-Sand, N., Castro, L. P., & Schulz, C. (2017). Evaluación breve de la presencia de diatomeas y su relación con algunos parámetros físico-químicos en el río Pirro, Heredia, Costa Rica. *Uniciencia*, 31(2), 99-109.
45. SEDUE. (1989). Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89. *Diario Oficial de la Federación*, 430(9).
46. Trujillo-Jiménez P. 2002. Biodiversidad acuática del río Amacuzac, Morelos, México. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Centro de Investigaciones Biológicas. Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. S150. México, D.F
47. Vázquez G., J. G. Garcia Franco, G. Castillo, F. Escobar, A. Guillén, M. L. Martínez, K. Mehlreter, R. Novelo, E. Pineda, V. Sosa, C., Valdepino, A. Campos C., R. Landgrave, E. Montes de Oca, A. Ramírez, J. Galindo. 2015. Ecosistemas ribereños: un paisaje fragmentado. CONABIO. *Biodiversitas*, 119:7-11

48. Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. Gulf professional publishing.

## 11. ANEXOS

Especies	$S_j$	$V_j$
	Sensibilidad a la contaminación	Valor indicador
<i>Amphora copulata</i>	5	1
<i>Amphora sp 1</i>	5	1
<i>Amphipleura lindhermeri</i>	1	3
<i>Cocconeis pediculus</i>	4	2
<i>Cocconeis placentula</i>	3	2
<i>Cocconeis scutellum</i>	2	2
<i>Cyclotella menenghiniana</i>	0	0
<i>Cymbella affinis</i>	1	3
<i>Fragilaria capuccina</i>	2	2
<i>Fragilaria crotonensis</i>	2	1
<i>Gomphonema acuminatum</i>	3	1
<i>Gomphonema olivaceum</i>	5	2
<i>Navicula gracilis</i>	4	1
<i>Navicula mutica</i>	5	1
<i>Navicula subrhynchocephala</i>	4	1
<i>Navicula subminuscula</i>	5	1
<i>Nitzschia sp</i>	4	1
<i>Nitzschia amphibia</i>	4	3
<i>Pleurosigma salinarum</i>	X	X
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	4	1
<i>Synedra goulardi</i>	4	1
<i>Tubularia fasciculata</i>	2	3
<i>Ulnaria goulardi</i>	X	X
<i>Ulnaria oxyrhynchus</i>	X	X

Tabla 10. Valores correspondientes a  $s_j$  y  $v_j$  para aplicar la fórmula del Índice de Descy (1979) (Tomado de Kelly, M. G. 1998)

$$\text{Fórmula: } \frac{\sum_{j=1}^n a_j v_j s_j}{\sum_{j=1}^n a_j v_j}$$

$a_j$ = Abundancia (proporción) de especies  $j$  en la muestra.

$v_j$ = Valor indicador (1-3).

$s_j$ = Sensibilidad a la contaminación (1-5) de especies.