



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE  
MORELOS**



---

---

**CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**

**MAESTRÍA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO DEL USO DEL  
SUELO EN LA ICTIOFAUNA DEL RÍO AMACUZAC**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN MANEJO DE  
RECURSOS NATURALES**

**PRESENTA:**

**KENIA KIRYATAIM BONILLA ROMÁN**

**DIRECTOR**

**DRA. PATRICIA TRUJILLO JIMÉNEZ**

**CUERNAVACA, MORELOS**

**SEPTIEMBRE 2020**





El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Hidrobiología del Departamento de Hidrobiología del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del estado de Morelos. Forma parte de proyecto Evaluación de los Ecosistemas Acuáticos de Morelos, el cual forma parte de la Línea de Generación del Conocimiento del Cuerpo Académico Evaluación de la Biodiversidad del Centro de Investigaciones Biológicas.

## AGRADECIMIENTOS

Dra. Patricia Trujillo Jiménez

Dr. Rubén Castro Franco

Dr. Alejandro García Flores

M. en C. Roberto Trejo Albarrán

M en C. María Eugenia Bahena Galindo

De manera especial a mí directora y asesora de tesis la Dra. Patricia Trujillo Jiménez, por brindarme todo su apoyo para la elaboración de este trabajo y ser parte de mi formación profesional dedicando su tiempo y enseñanza para que mi desempeño como alumna dentro de esta maestría fuera ejemplar, así mismo le estoy muy agradecida por todos esos consejos que de una u otra manera fueron esenciales en mi vida personal.

Al Dr. Rubén Castro, por su participación como sínodo dentro de este proyecto, así como su disposición de apoyo en el desarrollo y explicación de los métodos estadísticos utilizados en este trabajo.

Al Dr. Alejandro García por la disposición y apoyo en la estructuración del manuscrito.

A el M. en C. Roberto Trejo por su apoyo en las salidas a campo, así como en su disposición en la realización de los análisis de laboratorio y participación en la estructuración del manuscrito.

A la M en C. María Eugenia Bahena, por su apoyo en la realización metodológica del análisis de sedimentación, así mismo agradezco su confianza al brindarnos material y el espacio para el procesamiento de las muestras.

A mis compañeros Keila, Anayeli, Rodolfo y Juan por su apoyo en las salidas de campo para la toma de muestras y colecta, así como para el procesamiento de muestras en el laboratorio, así mismo agradezco de su compañerismo y amistad.

Finalmente agradezco a mis padres y a mis hermanos (as), por su apoyo en cada paso que he decidido tomar y enseñarme la persistencia, el empeño, la fuerza y el positivismo que hoy me han traído hasta donde estoy.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de estudios de posgrado otorgada para llevar a cabo esta investigación, durante mi desarrollo estudiantil.

## DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico de forma personal a la Dr. Trujillo por su apoyo incondicional y por su confianza que me brindo durante estos dos años y medio que duro la carrera. Por ser dedicada y persistente en mi desarrollo estudiantil.

A mis padres, por su amor, comprensión y sacrificio, por ser guía y sendero en los caminos difíciles de mi vida.

## Resumen

Este estudio analizó los usos del suelo y los cambios que han sufrido las zonas aledañas o áreas adyacentes al río Amacuzac en tres periodos distintos, desde los años noventa hasta la actualidad, así como el impacto que tiene el uso de suelo sobre la calidad del agua y del hábitat, así como la estructura de las comunidades ícticas que se presentan en el sistema. En total se registraron 30 tipos de cobertura vegetal durante los tres periodos analizados, de entre los cuales el uso agrícola y vegetación secundaria fueron los más predominantes. No se observó una tendencia marcada de cambio de superficie de agricultura temporal, pero en la vegetación de selva baja caducifolia, bosque de encino, bosque de pino, bosque de pino encino y bosque mesófilo de montaña, así como vegetación secundaria de estas mismas, se vieron reducidas entre los distintos periodos de tiempo. Mientras que las zonas urbanas y cuerpos de agua mostraron una tendencia de crecimiento entre los años 2001-2016. Los sitios de estudio con un mayor uso de suelo agrícola fueron Hujintlán, Amacuzac y El Estudiante, siendo estas también las que presentan un crecimiento de zona urbana y una disminución en la vegetación natural. El análisis del sedimento del río muestra que la caracterización física y química se ven relacionadas con la altitud y variación estacional, observándose que a altitudes mayores la textura muestra altos porcentajes de arena en las localidades Dos Bocas, Huajintlán y Amacuzac, contrario a lo que se observó en Chisco y Las Huertas que registraron una variación en el % arena y presencia de limo y arcilla, lo que lleva a tener coloraciones pardas a grises oscuros. El análisis de calidad del agua en los siete sitios de muestreo, registró un valor promedio que va entre los 51-80 en escala de Dinnius, indicando una calidad de agua regular, mostrándose una variación mínima entre localidades y meses de muestreo, siendo las localidades Dos Bocas y Agua Salada los sitios con valores altos, mientras que las zonas con presencia agrícola y urbana, mostraron variaciones altas y bajas en los distintos parámetros fisicoquímicos evaluados lo que influyo en su calidad. Siendo la conductividad, total de solidos disueltos, color, fosforo, nitrógeno amoniaco, alcalinidad, dureza, coliformes fecales y totales, los parámetros que registraron mayor variación entre sitios de muestreo y meses. La comunidad íctica se vio compuesta por 20 especies, de las cuales el 70% corresponden a especies introducidas y el 10% endémicas y el 20% fueron nativas. La familia más representativa fue Cichlidae, con siete especies, seguida de la familia Poeciliidae con cinco especies. Las localidades de la parte baja, fueron las que registraron una mayor riqueza, mientras que la localidad de la parte alta (Dos Bocas) exhibió el menor número de especies. Las especies introducidas *Poeciliopsis gracilis* y *Pseudoxiphophorus bimaculatus* fueron las especies con un valor de importancia alto, debido a su abundancia y frecuencia en la mayoría de los sitios de estudio. De acuerdo con los índices ecológicos se registró que hay una mayor diversidad de especies en Huajintla, El Estudiante, Las Huertas y Agua salada, a pesar de que la localidad de Dos Bocas registro un bajo número de especies fue la localidad que mostró una mayor dominancia de acuerdo con el índice de Simpson. La comunidad íctica respondió a la alteración en la calidad del agua y el hábitat y también a otros deterioros causados por la agricultura y las zonas urbanas, sin embargo, se necesita más información para establecer métricas para un índice biológico para evaluar la condición ecológica del río.

# INDICE

	<b>Páginas</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>4</b>
<b>3. Justificación</b>	<b>12</b>
<b>4. Objetivos</b>	
4.1. Objetivo General	<b>13</b>
4.2. Objetivos Particulares	<b>13</b>
<b>5. Materiales y Métodos</b>	
5.1. Área de estudio	<b>14</b>
5.2. Metodología	
5.2.1. Análisis del cambio del uso del suelo	<b>16</b>
5.2.2. Características físicas del sedimento del río	<b>17</b>
5.2.2.1 Determinación de textura (Método de Bouyoucos)	<b>18</b>
5.2.2.2 Determinación del color (Método de Munsell)	<b>19</b>
5.2.2.3 Determinación del pH	<b>20</b>
5.2.2.4 Determinación de la materia orgánica (Método de Walkley y Black)	<b>20</b>
5.2.2.5 Determinación de la densidad aparente y real	<b>21</b>
5.2.3. Características químicas del sedimento del río	<b>22</b>
5.3. Parámetros del hábitat y condición del hábitat	<b>22</b>
5.4. Características fisicoquímicas del agua	<b>24</b>
5.4.1 Índice de calidad del agua (ICA)	<b>24</b>
5.5. Comunidad de peces	<b>25</b>
5.6 Análisis de datos	<b>27</b>
<b>6. Resultados</b>	
6.1. Análisis del uso del suelo	<b>28</b>
6.2. Características del sedimento del río	
6.2.1 Propiedades físicas del sedimento del río	<b>33</b>
6.2.2 Propiedades químicas del sedimento del río	<b>40</b>
6.3. Parámetros de calidad del hábitat y condición del hábitat	<b>41</b>
6.4. Parámetros del agua	
6.4.1. Parámetros físicos del agua	<b>44</b>

6.4.2. Parámetros químicos del agua	48
6.4.3. Parámetros biológicos del agua	56
6.4.4 Correlación de los parámetros fisicoquímicos del agua	58
6.5 Calidad del agua (ICA)	58
6.6 Comunidad Íctica	60
6.6.1. Comunidad íctica por localidad	64
6.6.2. Comunidad íctica por mes de muestreo	66
6.6.3. Comunidad íctica por localidad y mes de estudio	67
6.7. Índice de valor de importancia (IVI)	72
6.8. Índices ecológicos	72
6.9. Análisis jerárquico de agrupación	73
6.10. Análisis de componentes principales	76
<b>7. Discusión</b>	
7.1. Cambio de uso de suelo	78
7.2. Características del sedimento del río	81
7.3. Calidad del hábitat	84
7.4. Variables fisicoquímicas y biológicas del agua	86
7.5. Índice de calidad del agua	92
7.6. Estructura íctica	95
<b>8. Conclusiones</b>	100
<b>9. Literatura Citada</b>	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Paginas
<b>Figura 1.</b> Ubicación de los sitios de estudio	16
<b>Figura 2.</b> Clases texturales del suelo	19
<b>Figura 3.</b> Ejemplos de tabla de colores Munsell	20
<b>Figura 4.</b> Mapa de uso de suelo en la subcuenca del río Amacuzac, en 1997	29
<b>Figura 5.</b> Mapa de uso de suelo en la subcuenca del río Amacuzac, en el 2001	30
<b>Figura 6.</b> Mapa de uso de suelo en la subcuenca del río Amacuzac, en el 2016	31
<b>Figura 7.</b> Densidad aparente entre localidades por meses	34
<b>Figura 8.</b> Densidad relativa entre localidades por mes	35
<b>Figura 9.</b> Porcentaje de porosidad entre localidades por mes	36
<b>Figura 10.</b> Variación espacial y estacional del potencial de hidrogeno en agua (H <sub>2</sub> O) y en cloruro de potasio (KCl)	39
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de Materia Orgánica entre localidad y meses	40
<b>Figura 12.</b> Porcentaje de carbono orgánico entre localidades y meses	41
<b>Figura 13.</b> Agrupación de los valores promedios de las calificaciones de condición de calidad de hábitat por localidad	43
<b>Figura 14.</b> Comparación de los valores de pH de manera espacial y temporal	44
<b>Figura 15.</b> Comparación de los valores de temperatura (°C) de manera espacial y temporal	45
<b>Figura 16.</b> Comparación de los valores de conductividad (μS/cm) de manera espacial y temporal	46
<b>Figura 17.</b> Comparación de los valores de total de solidad disueltos (TSD) de manera espacial y temporal	47
<b>Figura 18.</b> Comparación de los valores de color total (Pt-CO) de manera espacial y temporal	48
<b>Figura 19.</b> Comparación de los valores de nitrato de manera espacial y temporal	49
<b>Figura 20.</b> Comparación de los valores de nitritos de manera espacial y temporal	50
<b>Figura 21.</b> Comparación de los valores de nitrógeno amoniacal de manera espacial y temporal	51
<b>Figura 22.</b> Comparación de los valores de fósforo de manera espacial y temporal	52
<b>Figura 23.</b> Comparación de los valores de ppmO <sub>2</sub> (a) y %O <sub>2</sub> (b) de manera espacial y temporal	53
<b>Figura 24.</b> Comparación de los valores de la demanda bioquímica de oxigeno (DBO <sub>5</sub> ) de manera espacial y temporal	54
<b>Figura 25.</b> Comparación de los valores de la dureza de manera espacial y temporal	55

<b>Figura 26.</b> Comparación de los valores de la alcalinidad de manera espacial y temporal	<b>55</b>
<b>Figura 27.</b> Comparación de los valores del cloruro de manera espacial y temporal	<b>56</b>
<b>Figura 28.</b> Comparación de los valores de coliformes totales (a) y coliformes fecales (b) de manera espacial y temporal	<b>57</b>
<b>Figura 29.</b> Riqueza específica de la ictiofauna del río Amacuzac por sitio de estudio	<b>64</b>
<b>Figura 30.</b> Análisis de agrupamiento para los sitios de estudio del río Amacuzac, empleando datos de los usos de suelo, abundancias de especies de peces y valores del índice de diversidad ( $H'$ ).	<b>74</b>
<b>Figura 31.</b> Análisis de agrupamiento para los sitios de estudio del río Amacuzac, empleando datos de los usos de suelo, parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento, abundancias de especies de peces y valores de biodiversidad ( $H'$ ).	<b>75</b>
<b>Figura 32.</b> Diagrama del análisis de componentes principales (ACP) de los sitios de estudio del río Amacuzac en relación con los usos de suelo, parámetros fisicoquímicos y edafología del suelo.	<b>77</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 1.</b> Valores de los parámetros de la caracterización del hábitat de los sitios de estudio	<b>23</b>
<b>Tabla 2.</b> Categorías de calidad, rangos y color representativos para los índices de Dinnius (1987)	<b>25</b>
<b>Tabla 3.</b> Usos del suelo y sus valores de tasa media de crecimiento anual en distintos periodos	<b>32</b>
<b>Tabla 4.</b> Porcentajes de usos de suelo en el área de influencia de los sitios de estudio a lo largo del río Amacuzac, Morelos	<b>33</b>
<b>Tabla 5.</b> Clase textural de las localidades por mes	<b>37</b>
<b>Tabla 6.</b> Color del suelo en estado húmedo y seco	<b>38</b>
<b>Tabla 7.</b> Valoración de los parámetros de condición de hábitat por temporada	<b>42</b>
<b>Tabla 8.</b> Correlación entre variables fisicoquímicas evaluadas	<b>58</b>
<b>Tabla 9.</b> Valores del ICA en los distintos meses de muestreo	<b>59</b>
<b>Tabla 10.</b> Criterios o límites aconsejables en función de los valores del ICA	<b>60</b>
<b>Tabla 11.</b> Registro actual de la ictiofauna del río Amacuzac	<b>61</b>
<b>Tabla 12.</b> Registro y abundancia porcentual actual de la ictiofauna del río Amacuzac por localidad	<b>65</b>
<b>Tabla 13.</b> Registro actual de la ictiofauna del río Amacuzac por meses de colecta	<b>67</b>
<b>Tabla 14.</b> Registro de la ictiofauna por localidad y meses	<b>70</b>
<b>Tabla 15.</b> Índice de valor de importancia de la ictiofauna del río Amacuzac	<b>71</b>
<b>Tabla 16.</b> Índices ecológicos por localidad: H') Diversidad de Shannon-Wiener, D <sub>mg</sub> ) índice de Margalef, J') índice de Pielou, D <sub>si</sub> ) Índice de dominancia de Simpson	<b>73</b>
<b>Tabla 17.</b> Índices ecológicos por periodo mensual: H') Diversidad de Shannon-Wiener, D <sub>mg</sub> ) índice de Margalef, J') índice de Pielou, D <sub>si</sub> ) Índice de dominancia de Simpson	<b>73</b>

## 1. Introducción

La necesidad de fuentes confiables de alimentos se puede reflejar en el cambio dramático en el uso de la tierra para la agricultura, que ha representado la transformación de casi el 50% de las tierras del mundo en tierras de pastoreo o cultivos (Kareiva *et al.*, 2007). Los hábitats acuáticos también se ven afectados por el cambio del uso del suelo, ya que miles de hectáreas de manglares en todo el mundo se han transformado en estanques de peces y camarones (Naylor *et al.*, 2000). Como resultado de esta extensa conversión del uso de la tierra, tanto se pueden observar pérdidas masivas en la biodiversidad, que también reflejan consecuencias graves para los servicios de los ecosistemas (Naylor *et al.*, 2000; Ranganathan *et al.*, 2008).

El manejo desmedido de los suelos ha tenido como consecuencia una alta compactación de horizontes, provocando a si mismo que las propiedades físicas, químicas y biológicas se vean degradadas, limitadas y disminuidas (Ramírez, 1997). La destrucción de hábitat es uno de los principales factores causantes del declive de la biodiversidad registrado a nivel mundial (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Los bosques de ribera desempeñan distintas funciones ecosistémicas, entre las que destacan: la estabilización del suelo de márgenes y orillas, la retención de la escorrentía procedente de la cuenca y retención de sedimentos, provenientes de la agricultura, también mejora el paisaje y su valor recreativo (González y García, 2001). Por lo que su destrucción puede provocar alteraciones en la hidrología y geomorfología de los sistemas loticos, ya que estos ajustan su ancho y profundidad de acuerdo con el caudal y a la carga de sedimentos que este transporte (Teixeira de Mello, 2007).

Granados-Sánchez *et al.*, (2006), mencionan que una dimensión de 16 m de largo de vegetación de ribera, llega a retener un 50 % de nitrógeno y un 95 % de fosforo, por lo que la permanencia o creación de corredores vegetales a lo largo de un río es uno de los medios que permite restaurar la calidad de las aguas superficiales, además regula o disminuye las altas temperaturas, estabiliza las orillas reduciendo los

riesgos de erosión, y ofrece hábitats a muchas especies de animales y proporciona cantidades importantes de detritos vegetales, reducción de la velocidad de corriente, frena las crecidas y crea zonas someras y lentas las cuales son favorables para muchas especies acuáticas. El uso de la tierra dentro de las cuencas tiene gran impacto en la calidad del agua de los ríos y por ende en el de su biota.

La calidad del agua de los ríos puede degradarse debido a los cambios en los patrones de cobertura del uso del suelo dentro de la cuenca a medida que aumentan las actividades humanas (Ngoye y Machiwa, 2004; Sliva y Williams, 2001). Los cambios en la cobertura y las prácticas de gestión del uso del suelo se consideran como factores clave que influyen en la alteración del sistema hidrológico, que conducen al cambio en la escorrentía, así como la calidad del agua y modificaciones de las comunidades de flora y fauna (Young y Chen, 2002; Bai *et al.*, 2010).

Estudios previos, documentan el impacto a nivel físico, químico y biológico que ejerce el cambio del uso de suelo sobre la calidad del agua, dado que los parámetros físicos y químicos del agua son dependientes del tipo de sustrato, la precipitación, procesos ecológicos (Allan, 2004; Allan y Castillo, 2007; Sedeño-Díaz y López-López, 2007) la pérdida del hábitat y especies (Lenat, 1984; Karr y Chu, 2000).

El cambio de uso de suelo en agricultura, urbanización, entre otros, es uno de los principales cambios globales que afecta a los ecosistemas fluviales, puesto que los suelos tienden a perder su estructura natural y se compactan, lo que reduce su capacidad de absorción. Lo anterior sumado a la pérdida de vegetación natural por la deforestación, provoca un aumento de la erosión y un aumento en la carga de sedimentos y nutrientes en el sistema fluvial, lo que provoca que los ecosistemas se vuelvan inestables, llevando al desequilibrio de las redes tróficas (Karr y Schlosser, 1978), así como el detrimento de la calidad del agua (Freeman *et al.*, 2007; Pinto *et al.*, 2006). Las comunidades biológicas cambian en el tiempo y el espacio, como resultado de las diferentes características del hábitat, la disponibilidad de recursos (Matthews y Robinson, 1998; Grenouillet *et al.*, 2008).

Estudios sobre biodiversidad revelan una marcada disminución en el número de especies, el tamaño y la variabilidad genética de las poblaciones silvestres, debido a las distintas actividades que ejercen los humanos en la tierra llevando a una pérdida irreversible de hábitats y ecosistemas. Así mismo, mientras muchas especies disminuyen en abundancia y distribución, otras incrementan su población. Este escenario es parte de lo que se conoce como crisis de la biodiversidad destacando cinco puntos que permiten identificar cuando una población silvestre se ve reducida en tamaño: (1) sobreexplotación por parte del hombre, incluyendo actividades legales (como la pesca) e ilegales (como el tráfico de especies amenazadas); (2) destrucción de hábitats causada por diversas actividades productivas, que incluyen principalmente la deforestación; (3) los efectos negativos de las interacciones entre organismos, ya sea que estos sean naturales, introducidos o favorecidos por las actividades humanas (como los depredadores, patógenos y competidores); (4) la influencia de compuestos químicos y tecnológicos utilizados en la fertilización de suelos, fumigación de cultivos y la construcción de grandes obras de ingeniería (contaminación); (5) por catástrofes naturales tales como incendios, erupciones, inundaciones y terremotos (Ehrlich y Ehrlich, 1992).

Los protocolos de evaluación ecológica para determinar la calidad del agua y hábitat, así como la integridad biótica de los ecosistemas acuáticos, pueden explicar rápidamente el estado de la conservación de los ecosistemas y en virtud de su simplicidad, pueden integrarse en sistemas de monitoreo. Lo que hace de ellos herramientas útiles y de fácil aplicación en la toma de decisiones sobre el manejo y conservación de los recursos acuáticos.

## 2. Antecedentes

### Uso de suelo

Una zona ribereña designa el área de transición, pero también de interacciones entre los medios terrestre y acuático, y se caracteriza por una biodiversidad cuya composición está fuertemente determinada por la intensidad luminosa, el contenido de agua y la granulometría del suelo. Así, la vegetación ribereña es la base de la cadena alimentaria de los cuerpos de agua, puesto que el material orgánico proveniente del mantillo es transportado hacia el cuerpo de agua, y constituye un suministro energético más importante que la producción autóctona en los ríos (Granados-Sánchez *et al.*, 2006). No obstante a lo anterior, actualmente existe gran cambio en el uso del suelo cercano a los ecosistemas acuáticos, lo que ha provocado cambios en los hábitats ribereños, calidad de agua de los ecosistemas, lo que ha repercutido en la biota acuática, por lo que ha surgido la preocupación por conocer los impactos que se generan, realizando diversos estudios, como el de Figueroa-Jauregui *et al.* (2011), quienes examinaron los procesos hidrológicos de la cuenca endorreica de San Cristóbal de las casas en los altos de Chiapas, México y sus efectos por los cambios de uso de suelo en cuatro ciclos distintos (1975, 1993, 2000 y 2009), identificando cinco tipos de uso de suelo aledaños a la cuenca: agricultura de temporal (AT), bosque de encino (BQ), bosque de pino (BP), bosque mesófilo de montaña (BMM) y zonas urbanas (ZU), observándose una tendencia marcada en el cambio de superficie de BQ y BMM, presentando una reducción en los años 1975, 1993 y 2000, mientras que ZU registraban un crecimiento en los cuatro años de estudio, viéndose afectados los niveles de erosión hídrica debido a la disminución de cubierta forestal y al incremento de zonas agrícolas y urbanas.

Valdez-Lazalde *et al.* (2011), analizaron los cambios de uso de suelo de los años 1985 a 2007, en la cuenca del río Metztlán, México. Comparando los cambios con fotografías satelitales, observaron que anualmente había una pérdida del 0.5 % de vegetación, para hacer uso de suelo agrícola de temporal, así mismo, observaron que existía un incremento del 4.3 % de suelo urbano. Concluyendo que a medida que la

mancha urbana crezca la agricultura se ira desplazando a zonas de vegetación natural para ser remplazadas, lo que provocará una pérdida del uso del suelo vegetal.

### **Propiedades del suelo**

Murray *et al.* (2014) realizaron un estudio en la llanura costera del norte de Nayarit, México, con el objetivo de observar como el sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica, así como otras propiedades del suelo realizando un perfil de este en dos temporadas distintas 2005 y 2012. Registraron que los valores de MO en el sistema agroforestal entre los años de estudio presentó una diferencia de 3.31 %, interpretando que el incremento de la MO es un mejoramiento del ecosistema agroforestal, el cual influye en las propiedades del suelo tal como en la densidad aparente, la cual en el año 2005 registró un valor alto de esta propiedad ( $1.43 \text{ g cm}^3$ ) siendo que para el 2012 su valor disminuyo a  $1.19 \text{ g cm}^3$ , la porosidad total tuvo un incremento del 22 % lo que se relacionó con una mejora en la porosidad de aireación lo que lleva a una mejora en la capacidad de retención de humedad, concluyendo que a mayor agroforestación, hay un mayor incremento de materia orgánica que influyen mucho en las demás propiedades físicas del suelo.

Moreno-Jiménez *et al.* (2017), analizaron las variables de vegetación ribereña y su relación con las propiedades físicas y químicas del suelo en el afluente del río Tacotalpan, Tabasco, seleccionando tres zonas, parte alta, media y baja. Observando que en la zona alta fue donde se presentó una vegetación mejor conservada (vegetación primaria) las propiedades físicas y químicas del suelo, como nitrato, materia orgánica y fosforo fueron mayores que en las zonas de la parte media y baja las cuales tuvieron una vegetación secundaria, observando una correlación positiva entre la dimensión que mostraban los árboles, siendo evidente el efecto benéfico de la interacción planta-suelo.

## Calidad de hábitat y agua

Segnini y Chacón (2005), trabajaron con la caracterización fisicoquímica del hábitat interno y ribereño de ríos andinos en la cordillera de Mérida, Venezuela, en tres periodos distintos 1999, 2000 y 2001 en época de sequía, de acuerdo con el análisis demostraron que la variabilidad ambiental estaba establecida por la condición ecológica del hábitat, por las características topográficas de la cuenca, las propiedades fisicoquímicas del agua y las variables hidrológicas, observando que existía una relación entre el gradiente altitudinal y las condiciones térmicas hidrológicas, y la alta variabilidad entre cauces estaba asociada a la topografía del terreno y las variables fisicoquímicas del agua dependen de la variabilidad geológica que la cuenca presenta.

Li *et al.* (2008), estudiaron la calidad del agua en relación con el uso de suelo en la cuenca superior del río Han, China. Analizaron variables físicas y químicas del agua para inferir su variabilidad espacio-temporal, puntualizando la relación con el uso de tierra y la cobertura del suelo. Registrando que el agua en la cuenca es de baja mineralización con baja dureza y al comparar con la Organización Mundial de la Salud y las Normas estatales chinas para el agua potable, todas las variables se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (LMP) excepto pH, bicarbonato y el calcio que superan ligeramente los LMP. El cloruro, sodio y potasio tienen valores más bajos en comparación con los promedios mundiales. El contenido máximo del nitrato excede el límite seguro de 50 mg/L y su promedio es mucho mayor que 1.0 mg/L, mencionando que los altos contenidos de este compuesto pueden causar malformación de nacimiento, hipertensión, hemoglobina con alto contenido de hierro y bocio y, además, la carga excesiva de nitrato contribuye a la eutrofización del río.

Castillo *et al.* (2013), analizaron los efectos del uso del suelo sobre el régimen del flujo y la química del agua de los arroyos de la cabecera en las tierras altas de Chiapas, analizaron ocho corrientes que presentaban diferentes usos del suelo, observando que las zonas con mayor cubierta forestal mantenían un flujo de corriente alta, a diferencia de aquellas corrientes con mayor perturbación, las cuales presentaron

un flujo reducido. Para los estudios químicos del agua registraron que las concentraciones de nitrato fueron menores en los arroyos que drenaban las cuencas forestales, mientras que los valores más altos se exhibieron en las corrientes donde la agricultura tuvo alta cobertura y se aplicaba abono. Concluyendo que la conversión de los bosques en la agricultura y las zonas urbanas está afectando el régimen de flujo y el aumento de las concentraciones de nutrientes, aunque la magnitud de los impactos está influenciada por el tipo de prácticas agrícolas y la transformación de la zona ribereña.

Xiao *et al.* (2016), trabajaron con un análisis de múltiples escalas con relación al patrón paisajístico y la calidad del agua de un río urbano de la ciudad de Huzhou, China, en diferentes estaciones del año. Mencionan que el cambio en el uso de suelo de la tierra en la ciudad de Huzhou son importantes en la determinación de la calidad del agua en toda la cuenca. Se encontró que las escalas y las estaciones juegan un papel importante al analizar las relaciones entre las características del paisaje de los diferentes usos de tierra, así como una variación en la calidad del agua a diferentes escalas.

### **Calidad del hábitat**

En comparación con los estudios de la calidad del agua, la evaluación de componentes físicos del hábitat son relativamente una disciplina joven. Los métodos designados para documentar y evaluar la integridad física de los hábitats acuáticos fueron desarrollados después de los 80s en Alemania (Muhar *et al.*, 2000).

Resumiendo los resultados del hábitat de un taller realizado por Programa de Evaluación de Monitoreo Ambiental, sobre diseño de monitoreo de arroyos, Kaufmann (1993), analizó las relaciones de las mediciones físicas específicas del hábitat con base en siete atributos generales del hábitat físico importantes para influir en la ecología de las corrientes: 1) dimensiones del canal, 2) gradiente del canal; 3) tamaño y tipo de sustrato del canal, 4) complejidad y cobertura del hábitat, 5) cubierta y estructura de la

vegetación ribereña, 6) alteraciones antropogénicas e 7) interacción canal-ripario, mencionando que todos esos factores pueden ser alterados directa o indirectamente por actividades antropogénicas.

Camarero y Vicente (2010), llevaron a cabo la evaluación de la calidad del hábitat de arroyos de cabecera en terrenos agrícolas de la Campiña de la cuenca del río Guadarrama, España, en dos tiempos distintos (1956 y 2006). Aplicaron tres índices integrativos de calidad de hábitat: índice de protocolos de bioensayo rápido, índice de calidad riparia e índice de calidad de bosque de ribera, para ríos efímeros. Los índices mostraron valores significativos, en situación de abandono agrario, indicando una mejor condición del hábitat, y de acuerdo con los análisis estadísticos encontraron una relación entre la calidad del hábitat con la pérdida de sinuosidad.

Acosta *et al.* (2009) trabajaron con un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos en 45 y 42 estaciones dentro de las cuencas de Ecuador y Perú respectivamente. Aplicaron un índice de hábitat fluvial y un índice de calidad de vegetación de ribera, tomando en cuenta características del ecosistema como la contaminación y la vegetación. Implementaron una propuesta de evaluación del estado ecológico de los ríos, trabajando con índices de hábitat fluvial, con el estado de vegetación de ribera y calidad de ribera, tomando en cuenta variables como la comunidad de macroinvertebrados, la vegetación de ribera y algunas características físicas del hábitat como la cobertura total de la vegetación, estructura y calidad de la cubierta y alteración de los canales. Observaron que sitios donde se practicaban actividades agrícolas registraban una baja calidad de hábitat, siendo los sitios aguas abajo en un gradiente altitudinal los más impactados.

Sweeney *et al.* (2004), investigaron si la deforestación ribereña está ligada con el estrechamiento de los arroyos y la pérdida de servicios ecosistémicos, en América del Norte. Mostraron que la deforestación ribereña provoca el estrechamiento del canal, lo que reduce la cantidad total del hábitat del arroyo y el ecosistema por longitud del canal, comprometiendo el procesamiento de los contaminantes en la corriente. De igual forma

observaron que en los bosques más extensos hay una mayor comunidad de macroinvertebrados y mejor procesamiento de materia orgánica y captación de nitrógeno por unidad de longitud que aquellos tramos deforestados, sin embargo, no hubo una diferencia significativa en la abundancia total de peces por unidad de longitud del canal probablemente debido a su movilidad y su naturaleza pelágica.

### **Comunidad íctica**

En varios países del mundo, se han realizado diversos estudios sobre los cambios de la composición de las comunidades ícticas, debido a un impacto en los ecosistemas acuáticos como el de Lammert y Allan (1999), quienes evaluaron las características del hábitat y el uso de la tierra, así como la composición de los peces y de los macroinvertebrados, en el río Raisin en el sudeste de Michigan, que se encuentra en una zona de agricultura, esto con el fin de relacionar la condición biótica general con los patrones de uso de la tierra y la estructura del canal. Los peces mostraron una relación más fuerte con la variabilidad del flujo y el uso inmediato de la tierra, mientras que los macroinvertebrados se correlacionaron más fuertemente con el sustrato dominante.

Bistoni *et al.* (1999), evaluaron los efectos de la calidad del agua sobre las comunidades ícticas de la región central del Argentina. Determinaron atributos de las comunidades ícticas, las cuales cambiaban de manera consistente con la degradación de la calidad del agua e identificaron los factores fisicoquímicos que influían sobre las especies, explicado principalmente por las diferencias en las concentraciones de dureza, conductividad, cloruros y amonio, las cuales se incrementaron río abajo. La contaminación fisicoquímica alcanzó valores máximos después de recorrer la zona céntrica de la ciudad y especialmente el barrio San Vicente donde se encuentran numerosas industrias y sectores de ingresos bajos, lo que provocó un cambio en su estructura, siendo pocas las especies que resistieron el impacto.

Pinto *et al.* (2006), analizaron las condiciones ambientales de un río en el sureste de Brasil, mediante la evaluación de la estructura de la biota íctica con el índice de

integridad biótica (IBI), el uso del paisaje y la condición ribereña que este ecosistema presenta. Reportaron que el momento más apropiado para evaluar el IBI fue durante el período de invierno/seco, cuando el muestreo fue más efectivo y el IBI fue más sensible a los cambios en la calidad ambiental. El uso del paisaje y la condición ribereña se relacionaron, y el IBI se correlacionó positivamente con el porcentaje de pasto, porcentaje de área tributaria y condición ribereña, pero se correlacionó negativamente con el porcentaje de área urbana. En algunos casos, las áreas urbanas eliminaron la vegetación leñosa ribereña, desestabilizando la estructura del hábitat físico del sitio.

Teixeira de Mello (2007), evaluó los efectos del uso de suelo sobre la calidad del agua y como esta afectaba a las comunidades de peces, en la cuenca baja (Arroyo Colorado) del río Santa Lucia. Reportó que la calidad del agua se veía afectada por los diferentes usos de suelo y que esta misma se veía relacionada con el incremento del uso de suelo urbano, con respecto a la comunidad íctica observó que la presencia de peces de mayor tamaño se relacionaba con la buena calidad del agua presente en el sistema, al igual que la riqueza y abundancia, así como una mayor diversidad de acuerdo con el índice de Shannon-Wiener, siendo los órdenes Characiformes, Siluriformes y Synbrachiformes los mejor representados en sitios con mejor calidad de agua, mientras que el orden Cyprinodontiformes se vio favorecido en los sitios de peor calidad de agua.

En México debido a la modificación de los ecosistemas acuáticos y el cambio del uso del suelo, existe una preocupación por los cambios que pueden sufrir las condiciones de calidad del agua y la pérdida o cambios en las comunidades ícticas por lo que se han realizado diversos estudios como el de Gómez (2011), quien analizó los cambios históricos en la composición de la comunidad íctica del río Santiago, en el noroeste de México. Menciona que esta región ha sido fuertemente degradada por las descargas residuales sin tratamiento de sitios poblacionales y zonas de desarrollo agropecuario e industrial. En el análisis de la calidad del agua, registró parámetros como la demanda bioquímica y química de oxígeno asociadas al deterioro y la incapacidad del río de asimilar grandes cargas orgánicas, reconociendo las

concentraciones altas de estos parámetros y de nutrientes (nitrógeno y fósforo) a lo largo de la cuenca. Mientras que en la composición de la comunidad íctica observó una disminución de especies nativas y endémicas como consecuencia de la degradación ambiental y la fragmentación de las corrientes por presas, así mismo, se registró un aumento de especies introducidas.

Torrente (2016), identificó la relación entre los usos del suelo en escalas de tramo y cuenca y las características físicas y químicas del agua, así como la clorofila y las comunidades de peces en tres ríos, durante las épocas de lluvias y estiaje, desde la parte alta (zona alta) en las montañas del sur de Chiapas, hasta la planicie costera (zona plana) del Golfo de México lo que corresponde a la cuenca baja del río Grijalva. Tomó medidas biológicas como densidad, frecuencia, abundancia y diversidad específica y funcional. Los resultados mostraron que los usos de suelo en ambas escalas pueden estar actuando a través del hábitat físico y los bosques ribereños ya que se correlacionaron con las variables físicas y químicas del agua, la estructura de las comunidades de peces y la clorofila. Sin embargo, se observó dominancia de peces invasores y ausencia de depredadores tope en zonas planas en donde hay mayor intensidad de agricultura y zonas urbanas.

Pacheco-Díaz *et al.* (2017), estudiaron el uso de la tierra e integridad biótica en arroyos pocos profundos de la cuenca del río Hondo en la península de Yucatán, mencionan que los entornos acuáticos enfrentan una variedad de amenazas, esto debido a algunos impactos como la contaminación por pesticidas, ya que estos pueden depender del uso y cobertura de la tierra. Analizaron el efecto de siete tipos de uso/cobertura de la tierra (agricultura, pastos, asentamientos humanos, masas de agua, humedales, bosques y vegetación secundaria), se establecieron correlaciones entre el índice de integridad biótica (IBI) con distintas escalas espaciales, observando que la agricultura, los asentamientos humanos y la vegetación secundaria se correlacionaban negativamente con el IBI, mientras que los bosques tenían una correlación positiva concluyendo que de las distintas categorías paisajísticas, la de origen antropogénico tendía a ser perjudicial para la integridad biótica acuática.

### **3. Justificación:**

A lo largo del río Amacuzac, se han realizado diferentes cambios de usos del suelo, registrándose en la parte alta uso agrícola, pecuario y áreas urbanas, las cuales han sido avaladas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (Palacios *et al.*, 2008), la parte media es la más urbanizada y la parte baja es la menos impactada (Eufracio-Torres *et al.*, 2016). Aunado a lo anterior, en el 2014 algunas dependencias del Gobierno de Morelos, realizaron obras como el desazolve, ensanchamiento y extracción de sustrato para construir bardas, para evitar el desborde del cauce del río por lluvias intensas; con el fin de garantizar la seguridad de familias que se ubican en áreas aledañas de los municipios de Huajintlán, Tehuixtla, Puente de Ixtla y Jojutla de Juárez, lo que originó el aumento de la velocidad y la fuerza del río, la desaparición del corredor ribereño natural y de refugio para muchas especies nativa y exóticas de peces, anfibios y macroinvertebrados, así como la alteración del hábitat (Mezquitillo-Avelar *et al.*, 2016). Con base en lo anterior, con el presente estudio se aportará información de cómo afecta el cambio del uso de suelo, en la calidad del agua y como ésta afecta a las comunidades de peces en diferentes escalas espaciales del río Amacuzac.

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto del cambio de uso de suelo sobre la calidad del agua y el cambio en la estructura íctica de la cuenca del río Amacuzac, Morelos.

### **4.2. Objetivos particulares**

Delimitar y describir los diferentes usos de suelo a lo largo de la cuenca del río Amacuzac.

Identificar la relación entre el cambio de uso de suelo y la calidad del agua

Determinar los atributos de las comunidades ícticas que responden mediante la sensibilidad o tolerancia a los cambios en el uso del suelo y calidad del agua.

## 5. Material y Métodos

### 5.1. Área de estudio

El estado de Morelos se encuentra comprendido en su totalidad en la región Hidrológica No.18 (Balsas), esta entidad está conformada por seis subcuencas hidrológicas de los ríos Nexpa, Cuautla, Yautepec, Apatlaco, Coatlán o Chalma, Alto Amacuzac y Bajo Amacuzac. La corriente principal de las subcuencas del Alto y Bajo Amacuzac, corresponde al río Amacuzac, originándose en las faldas del volcán del Nevado de Toluca, haciendo un recorrido de 75 km confluyendo subterráneamente con los ríos San Jerónimo y Chontalcoatlán en el estado de Guerrero, naciendo en el sitio denominado Dos Bocas, se considera uno de los afluentes más importantes de la región de Morelos, a causa de que es recolector de manera perpendicular de oeste a sur de los principales caudales (Tembembe, Chalma, Apatlaco y Yautepec) de esta entidad (Trujillo-Jiménez *et al.*, 2010).

Morelos cuenta con una superficie de 495,822 ha de ellas la ganadería explota 219,252 ha, la agricultura 188,041 ha, la superficie forestal es de solo 71,915 ha, 15,380 ha son ocupadas por áreas urbanas y 834 ha corresponden a cuerpos de agua (CONABIO y UAEM, 2004). En el Estado la totalidad de los cuerpos de agua pertenecen a la Cuenca del Balsas, que corresponde al río más grande del sur del país. Este se encuentra dividido en tres Subcuencas, una de ellas es la del río Amacuzac, que tiene una superficie de 4,303.39 km, la de Nexpa o Atoyac, con 673.17 Km y la del Balsas-Mezcala, con 1.6 Km (Trujillo-Jiménez *et al.*, 2010).

La cuenca del río genera un volumen por precipitación de aproximadamente 4,216 millones de m<sup>3</sup>, de los cuales 3,432 representan el escurrimiento susceptible de aprovechamiento. De éstos, 880 millones de m<sup>3</sup> se usan en los sectores agropecuarios, domésticos, comerciales e industriales, por lo que se cuenta con una disponibilidad de 2,552 millones de m<sup>3</sup> (CONABIO y UAEM, 2004).

Actualmente el río Amacuzac presenta cuatro de los siete síntomas de un ecosistema estresado (Rapport *et al.*, 1998): 1) alteración de la estructura de la comunidad biótica que favorece las formas de vida más pequeñas; 2) incremento en la dominancia de estrategias “r”; 3) incremento en la prevalencia de enfermedades y 4) dominancia de especies exóticas. Se ha modificado su entorno en gran parte del curso del río para uso agrícola, registrándose deforestación, fragmentación del hábitat, crecimiento poblacional, erosión, abatimiento de manantiales, mayor pastoreo y quema.

**Microcuenca de Coaxitlán.** Se ubica entre los límites de los municipios de Tlaquiltenango y Puente de Ixtla en el estado de Morelos y de Huitzuc de los Figueroa en el estado de Guerrero. Tiene una superficie de 4,575.17 ha y sus coordenadas extremas en unidades UTM son: 2043848.4950 N, 2033371.2776 S, 485259.7078 E y 475773.7769 O (Alcocer, 2016). Pertenece a la Región Hidrológica No. 18 relativa a la Cuenca del Río Balsas y a la Cuenca del río Grande del Amacuzac (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011) y se ubica dentro del polígono del área natural protegida Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla (Dorado *et al.*, 2005) (Fig. 1).

Para la realización del presente estudio se establecieron seis localidades a lo largo del río Amacuzac (una en la parte alta, cuatro en la parte media con un rango de distribución, y una en la parte baja), y una localidad en la microcuenca de Coaxitlán Sierra de Huautla (Fig. 1). Se llevaron a cabo cuatro muestreos en cada sitio de estudio, abarcando los meses de noviembre, 2018 y febrero y diciembre 2019 (estiaje frío) y abril, 2019 (estiaje cálido), cabe aclarar, que no se abarco la temporada de lluvias, debido a que fue una temporada atípica con fuertes precipitaciones, lo que ocasionó el desbordamiento del río.

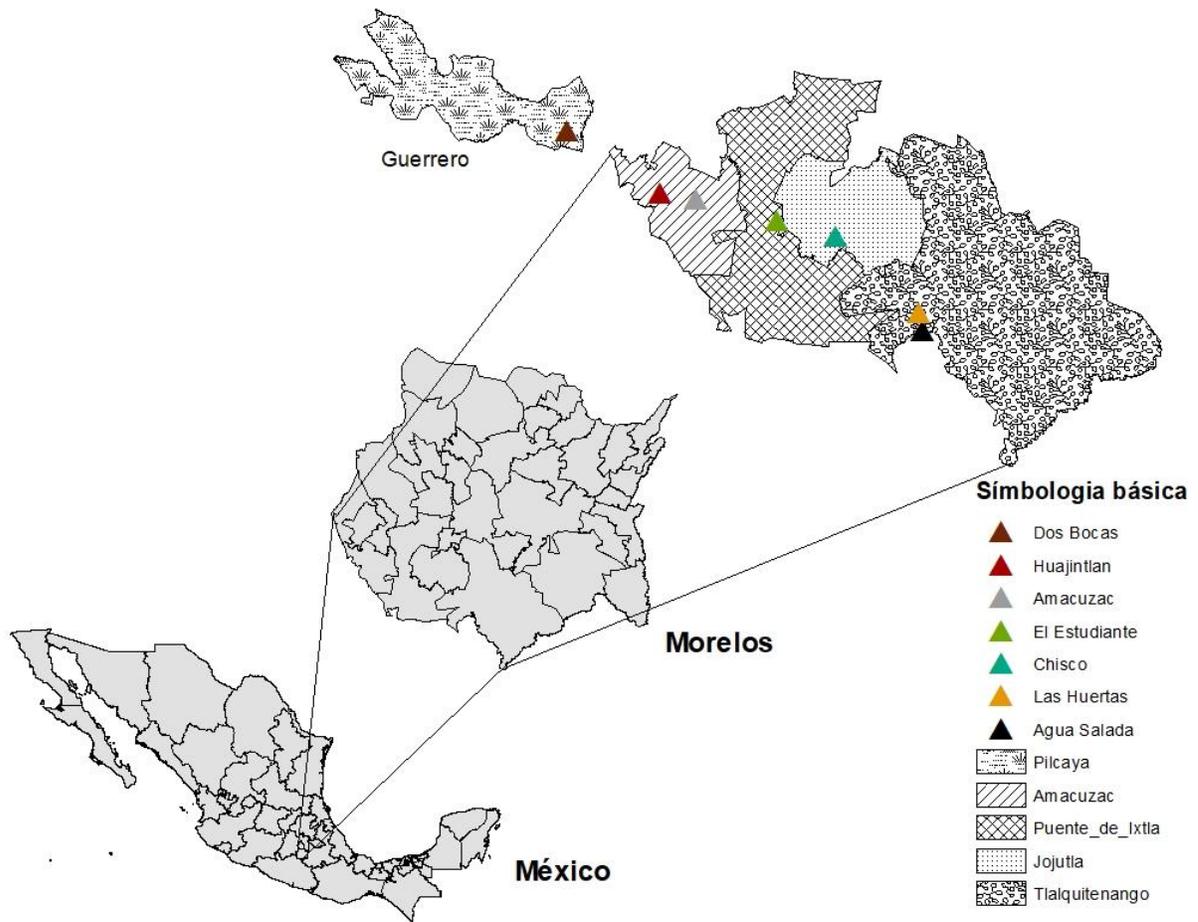


Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio

## 5.2. Metodología

### 5.2.1 Análisis del cambio del uso del suelo

Se encuentra establecido que la morfología del relieve, la topografía, las características físicas y químicas de los suelos, el tipo de vegetación, el uso del suelo y otros elementos que operan a nivel de paisaje son factores determinantes en la estructuración de los diferentes patrones de funcionamiento en los ríos de zonas templadas (Segnini y Chacón, 2005).

Con la información de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad Geoportal de la CONABIO (INEGI, 2017), se obtuvieron tres mapas temáticos para los años 1997, 2001 y 2016 (Figs. 4, 5 y 6) a través de metadatos (Shapes) de la Subcuenca del río Amacuzac, posteriormente fueron importados al software Arcgis 10.2.1 permitiendo obtener la clasificación y análisis del uso de suelo en estos años.

Se calculó la tasa media de crecimiento anual (TMCA) de los usos de suelo fue calculada con la siguiente formula:

$$TMCA = (((VF/VI)^{(1/N)})-1)*100$$

**Dónde:**

TMCA = tasa media de crecimiento anual

VF = valor final del uso de suelo Ji

VI = valor inicial del uso de suelo Ji

N = años transcurridos entre el VI y VF del uso de suelo Ji

Las coberturas o usos de suelos para la subcuenca del río Amacuzac, fueron seleccionadas a partir de la clasificación propuesta por INEGI en tres periodos de tiempo:1997, 2001 y 2016. Para la determinación del área de impacto del uso del suelo para cada sitio de estudio, se trazó una zona de influencia con un radio de 500 m desde el punto de muestreo, la extensión correspondiente a cada uso de suelo dentro de la zona de influencia fue delimitada para calcular su área en m<sup>2</sup> y a su vez fue convertida a porcentaje. Lo anterior fue realizado con el programa de Google Earth pro y el software ArGis 10.2.1.

### **5.2.2. Características físicas del sedimento del río**

Para la caracterización (morfológica, física y química) del sedimento se realizó sobre zonas de baja velocidad de corriente y sobre el margen de los ríos, donde se acumulan

principalmente sedimentos finos, para la colecta y homogenización de muestras de sedimento, se utilizó una espátula de acero inoxidable. Las muestras se almacenaron en bolsas herméticas ziploc de un kilo, para determinar en laboratorio los parámetros de textura, color, pH, contenido de materia orgánica (MO), densidad real y aparente. Las muestras fueron conservadas y transportadas bajo refrigeración y en obscuridad hasta su análisis en laboratorio.

### 5.2.2.1. Determinación de la textura (Método de Bouyoucos)

La textura del sedimento es una de las características físicas más importantes, pues a través de ella, se puede predecir su comportamiento físico, haciendo inferencias acerca del movimiento del agua en el perfil, la facilidad de manejo y la cantidad de nutrientes. Algunas propiedades de las partículas minerales del sedimento están condicionadas por su tamaño. Los términos de grava (> 2.00 mm), arena (2.00 mm – 0.05 mm), limo (0.05 mm – 0.002 mm) y arcilla (< 0.002 mm), son los términos comúnmente aceptados para clasificar las partículas del sedimento según su tamaño (Gómez, 2013).

En el presente estudio se utilizó el método de Bouyoucos para determinar la textura, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ de limo} + \% \text{ de arcilla} = (\text{primera lectura}/50 \text{ gr de suelo}) * 100$$

$$\% \text{ de arena} = 100 - \frac{\text{Lectura corregida a los 40 seg.}}{\text{Peso de la muestra (g) a } 105^{\circ}\text{C}} * 100$$

$$\% \text{ de arcilla} = \frac{\text{Lectura corregida a las 2 h} \times 100.}{\text{Peso de la muestra (g) a } 105^{\circ}\text{C}}$$

$$\% \text{ de limo} = 100 - (\% \text{ arcilla} + \% \text{ arena})$$

Con los resultados obtenidos se hizo una triangulación en el gráfico de clases textuales (Fig. 2).

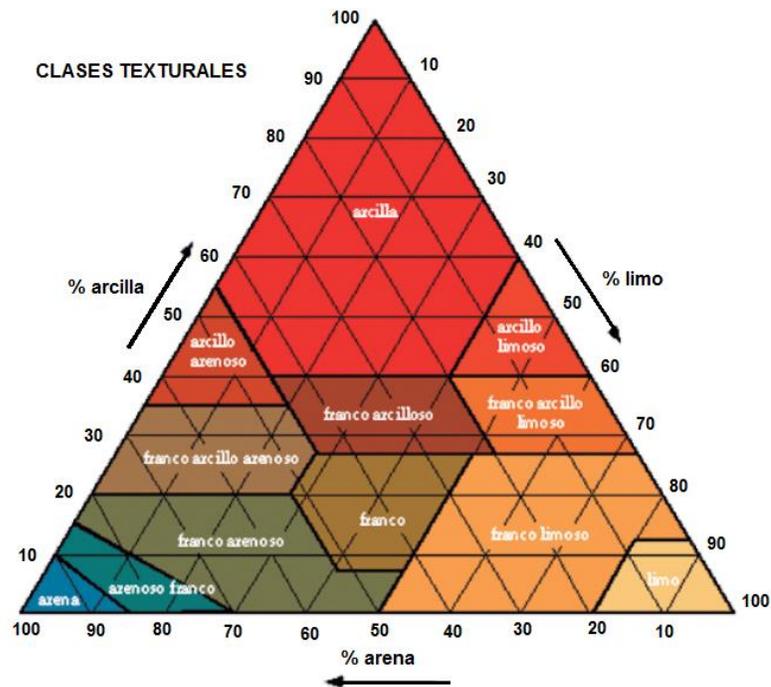
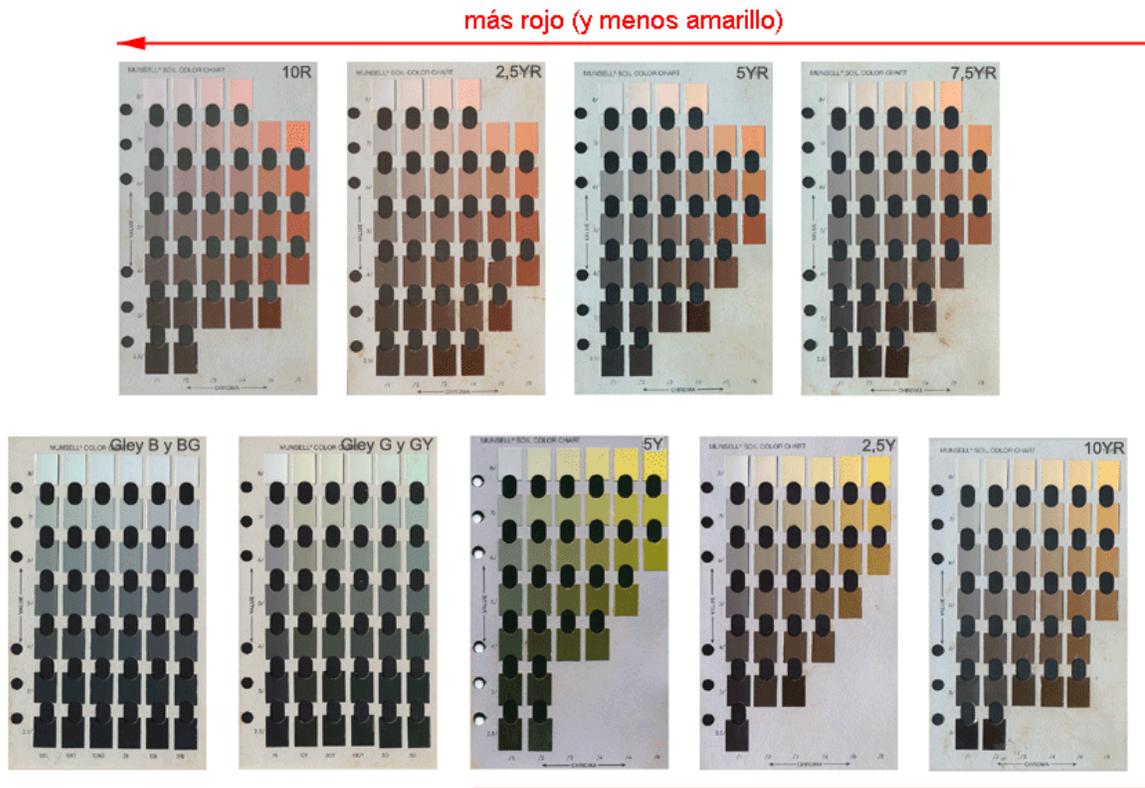


Figura 2. Clases textuales del suelo. Tomado de Gómez (2013).

#### 5.2.2.2. Determinación del color (Método de Munsell)

Una de las características morfológicas más importantes del sedimento es el color, que permite identificar distintas clases de sedimentos. Es el atributo más relevante utilizado en la separación de horizontes y tiene una estrecha relación con los principales componentes sólidos de este recurso (Gómez, 2013).

Para la determinación del color se empleó la tabla de colores Munsell (Fig. 3). La tabla Munsell está compuesta de hojas, representando cada matiz (Hue) específico. Cada hoja presenta una serie de placas o “chips” con diferente coloración y sistemáticamente arreglados en la hoja, que representan la claridad (Value) y la pureza (Chroma).



**Figura 3.** Ejemplos de tabla de colores Munsell. Tomado de internet [http://edafologia.ugr.es/programas\\_suelos/practclas/abcsol/comun/munsells.htm](http://edafologia.ugr.es/programas_suelos/practclas/abcsol/comun/munsells.htm)

### 5.2.2.3. Determinación del pH

La importancia de medir el pH del sedimento radica en la disponibilidad de los nutrientes, puesto que muchos nutrientes tienen su máxima solubilidad en un rango entre 6 y 7 decreciendo por arriba y debajo de tal rango (Gómez, 2013). Para su determinación se empleó solución Buffer de pH 4, 10 y 7 para calibrar el potenciómetro e inmediatamente se tomó la lectura.

### 5.2.2.4. Determinación de la materia orgánica (Método de Walkley y Black)

La materia orgánica del sedimento es la fracción del que se compone de tejido vegetal o animal en diversas etapas de descomposición. La materia orgánica proporciona una

serie de beneficios sobre las diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas del sedimento (Gómez, 2013). Esta se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de M.O} = 5 - (\text{ml de FeSO}_4 \times \text{N real}) / \text{g de muestra} \times 0.69$$

**Dónde:**

5 = dicromato agregado

N = normalidad real del sulfato ferroso (FeSO<sub>4</sub>)

0.69 = constante (Jackson, 1976)

N real = 10 x 0.5 /ml de Fe SO<sub>4</sub>

#### **5.2.2.5. Determinación de la densidad aparente y real**

La densidad aparente (Da) del sedimento se define como la masa de una unidad de volumen de sedimento seco a 105° C. Este volumen incluye tanto sólidos como los poros, por lo que la Da refleja la porosidad total del sedimento. Valores de Da bajos indican una condición porosa del sedimento. La Da es un parámetro muy importante para describir la calidad del sedimento y la función del ecosistema. Los valores de Da altos expresan un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida y cambios indeseables en la función hidrológica como reducción de la velocidad de infiltración del agua (Gómez, 2013). Esta se evalúa de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Da} = \frac{\text{Peso del sedimento} = \text{g/ml}}{\text{Volumen}}$$

**Densidad de la fase sólida del sedimento.** Este valor es prácticamente constante en la mayoría de los sedimentos, y oscila en torno a 2.65 g/cc. La posible variación de la densidad real (Dr) del sedimento se debe normalmente a la variación de la cantidad de

materia orgánica (Gómez, 2013). Este se realizó de acuerdo con el método del picnómetro y se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$D_r = S / S + A - (s+a)$$

**Donde:**

Dr = densidad real

S = peso del sedimento

A = peso del agua

(s+a) = peso del suelo y agua mezclado

Así mismo se calculó el porcentaje de espacio poroso con la siguiente ecuación:

$$\% P = 100 (1 - D_a / D_r)$$

**Donde:**

%P = porcentaje de espacio poroso

Da = Densidad aparente

Dr = Densidad real

### **5.2.3. Características químicas del sedimento del río**

Determinación de capacidad de intercambio catiónico (Na-K y Ca-Mg) utilizando acetato de sodio y centrifugación (Black, 1965). Se calculó de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$Ca^{++} = \text{ml de EDTA} \times 5 \times N / \text{g de muestra} \times 100 = \text{meq/ 100 g de sedimento}$$

$$Mg^{++} = \text{ml de EDTA} \times 5 \times N / \text{g de muestra} \times 100 = \text{meq/ 100 g de muestra}$$

### **5.3. Parámetros de hábitat y condición de hábitat**

Para analizar los efectos de la agricultura, el abandono agrario y otros usos de suelo sobre la integridad de los sistemas fluviales se recurrió a un índice de evaluación de la

calidad ecológica o de hábitat, donde se consideran varios de los factores que inciden sobre la estructura y función de estos ecosistemas. Uno de estos índices es el propuesto por Barbour *et al.* (1999) el cual evalúa la calidad ambiental de los cursos fluviales vadeables y sus riberas, consistiendo en una evaluación visual, por la cual se le asigna un valor de condición de acuerdo con los lineamientos descritos en la tabla 1.

Para cada sitio se suman los valores de todos los parámetros y así se obtiene una calificación agregada. Esta calificación se divide entre 200, que es el valor máximo posible y se utilizan los rangos del Departamento de Recursos Naturales de Vermont (VANR, 2004) para evaluar la condición de hábitat de cada sitio. Estos rangos son: óptima (0.85-1.0), subóptima (0.65-0.84), marginal (0.35-0.64) y pobre (0.0-0.34).

**Tabla 1.** Valores de los parámetros de la caracterización del hábitat de los sitios de estudio

	<b>Óptimo</b>	<b>Subóptimo</b>	<b>Marginal</b>	<b>Pobre</b>
1. Sustrato/cobertura disponible	20 - 16	15 - 11	10 - 6	5 - 0
2. Sustrato	20 - 16	15 - 11	10 - 6	5 - 0
3. Regímenes de velocidad y profundidad	20 - 16	15 - 11	10 - 6	5 - 0
4. Depósito de sedimento	20 - 16	15 - 11	10 - 6	5 - 0
5. Estado del canal	20 - 16	15 - 11	10 - 6	5 - 0
6. Alteración del canal	20 - 16	15 - 11	10 - 6	5 - 0
7. Sinuosidad del canal	20 - 16	15 - 11	10 - 6	5 - 0
8. Estabilidad del banco izquierdo	10 - 9	8 - 6	5 - 3	2 - 0
8. Estabilidad del banco derecho	10 - 9	8 - 6	5 - 3	2 - 0
9. Protección de la vegetación izquierdo	10 - 9	8 - 6	5 - 3	2 - 0
9. Protección de la vegetación derecho	10 - 9	8 - 6	5 - 3	2 - 0
10. Vegetación riparia izquierdo	20 - 16	15 - 11	10 - 6	5 - 0
10. Vegetación riparia derecho	20 - 16	15 - 11	10 - 6	5 - 0
<b>Total</b>	<b>(200 - 166)</b>	<b>(153 - 113)</b>	<b>(100 - 60)</b>	<b>(47 - 0)</b>

Fuente: Barbour *et al.*, (1999).

Con los valores de condición del hábitat se realizó un análisis de conglomerados, utilizando el programa STATISTICA 7, para identificar la agrupación de los sitios y observar si los sitios de referencia se separan de los sitios perturbados.

## 5.4. Caracterización fisicoquímica del agua

Se registraron los siguientes factores ambientales en *in situ* oxígeno disuelto (mg/L), saturación de oxígeno (mg/L), conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), temperatura del agua y aire ( $^{\circ}\text{C}$ ), y pH, con el empleo de una sonda multiparamétrica Quanta. Para evaluar la calidad del agua, se colectaron en cada sitio, muestras por duplicado, para determinar nitrato (mg/L), color (Pt–Co unidades), dureza total ( $\text{CaCO}_3$  mg/L), alcalinidad (mg/L) y cloruro (Cl mg/L) También se determinó la alcalinidad total ( $\text{CaCO}_3$   $\text{mgL}^{-1}$ ), demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días ( $\text{DBO}_5$   $\text{mgL}^{-1}$ ), dureza total ( $\text{CaCO}_3$   $\text{mgL}^{-1}$ ), coliformes totales (CTotales) y fecales CFecales (NMP 100  $\text{mL}^{-1}$ ) siguiendo las técnicas del APHA (2012).

Para estimar el contenido de CTotales y CFecales, se tomó una muestra de agua en bolsas estériles WhirlPack de 100 ml en cada localidad y visita realizada. Todas las muestras de agua fueron almacenadas en condiciones de refrigeración y oscuridad hasta su traslado al laboratorio. La determinación de los CTotales y CFecales se realizó con una prueba estándar de tubo múltiple; y los resultados se reportan como el número más probable (NMP) (APHA, 2012).

### 5.4.1. Índice de calidad del agua

Con los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos *in situ* y las determinaciones en laboratorio, se obtuvo el subíndice de calidad para cada parámetro y se aplicó la fórmula del Índice de Calidad del Agua (ICA) de Dinius (1987) por visita para cada sitio. El resultado obtenido se ubicó en una escala porcentual del ICA y se determinó la idoneidad del agua para sus diferentes usos antropogénicos. Los resultados obtenidos se miden de acuerdo con la escala de 0 a 100, en donde el valor mayor (100 a 80) representa buena calidad del agua de acuerdo con los valores de la tabla 2.

**Tabla2.** Categorías de calidad, rango y colores representativos para los índices de Dinius (1987).

Índice de Dinius (1987)	
Calidad	Rango
Excelente	91-100
Buena	81-90
Regular	51-80
Mala	41-50
Muy mala	0-40

### 5.5. Comunidades de peces

Los peces fueron recolectados con una red de arrastre de 5 m de largo por 2 m de ancho y poro de luz de malla de 1 cm y una atarraya. El esfuerzo de captura fue de una hora por sitio considerando áreas de remanso y corriente, abarcando 100 metros para obtener una muestra representativa (Matthews, 1990). Los ejemplares fueron colocados en cubetas de 20 litros y frascos de dos litros con formaldehído al 10 %, debidamente etiquetadas, fueron transportados al laboratorio de Hidrobiología del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del estado de Morelos. La identificación se realizó con claves taxonómicas (Meek, 1904; Armbruster y Page, 2006; Chávez *et al.*, 2006 y Miller *et al.*, 2005). Todos los ejemplares fueron medidos y pesados a los 15 días de haber sido fijados con formol, tiempo en el que el peso se estabiliza con un aumento del 5 % de su biomasa (Granado-Lorencio, 1996).

La estructura íctica se determinó mediante la riqueza de especies (número de taxones), dominancia, biodiversidad y equidad.

La dominancia fue estimada por medio del índice de Simpson (Krebs, 1999).

$$\lambda = \sum pi^2$$

**Donde:**

pi = abundancia proporcional de la especie i, es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

La diversidad fue estimada con el índice de Shannon-Wiener, que combina dos componentes de la diversidad: el número de especies y la igualdad o desigualdad de los individuos entre la distribución de las diversas especies (Krebs, 1999).

$$H = -\sum (p_i) (\log_2 p_i)$$

**Donde:**

H = Índice de diversidad de Shannon-Wiener

S = número de especies

$p_i$  = proporción del total de la muestra que corresponde a la muestra  $i$ .

Se evaluó la equidad de Pielou, el cual mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes y 0 hay heterogeneidad en las abundancias (Krebs, 1999).

$$J' = \frac{H'}{H_{\max}}$$

**Donde:**

$H_{\max} = \log_2 S$

S = Número de especies

Así mismo, se calculó la dominancia de especies a través del índice de valor de importancia (IVI) ya que este índice representa un estimado más elaborado de la dominancia de las especies en las comunidades, pues no sólo considera la contribución de la abundancia, sino también la biomasa que aporta cada especie y su frecuencia de aparición (McCune y Grace, 2002).

$$IVI = \text{abundancia relativa} + \text{frecuencia relativa}$$

## 5.6. Análisis de datos

La normalidad de los datos fue verificada con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. Para los datos con distribución normal se utilizó Análisis de Varianza ANOVA o prueba de *tStudent*. Cuando los datos no tenían una distribución normal se utilizó las pruebas de Kruskall-Wallis, las evaluaciones se llevaron a cabo con el software STATISTICA versión 7.

Se realizó el análisis de componentes principales para evaluar la relación entre las especies de peces, factores físicos y químicos del agua, características del hábitat y tipos de uso del suelo. Para ello, se utilizó una matriz de datos con las características del hábitat, actividades antropogénicas y la abundancia de cada una de las especies por sitio y por mes de estudio. Los datos fueron transformados a  $\log(x + 1)$  (características del hábitat) y raíz cuadrada (actividades antropogénica y abundancia de las especies) para garantizar la normalidad de los datos, eliminando el efecto de las unidades de medida.

Con el fin de evaluar el nivel de similitud de los sitios de estudio por sus características de uso del suelo, parámetros fisicoquímicos y sus comunidades biológicas, se elaboraron dos análisis de agrupación jerárquica por correlación de Pearson (AJCP). El dendrograma se construyó con el método de unión por promedios no ponderados y corte automático por entropía. El primero de los análisis (AJCP-I) comprendió los datos de uso de suelo, la biodiversidad ( $H'$ ) promedio y las abundancias promedio de las especies de peces por sitio de estudio, y el segundo (AJCP-II) se llevó a cabo con los resultados de uso del suelo, el promedio de los parámetros fisicoquímicos, la  $H'$  y las abundancias promedio de las especies de peces por sitio de estudio, las evaluaciones se llevaron a cabo con el software XLSTAT versión 2016.

## 6. Resultados

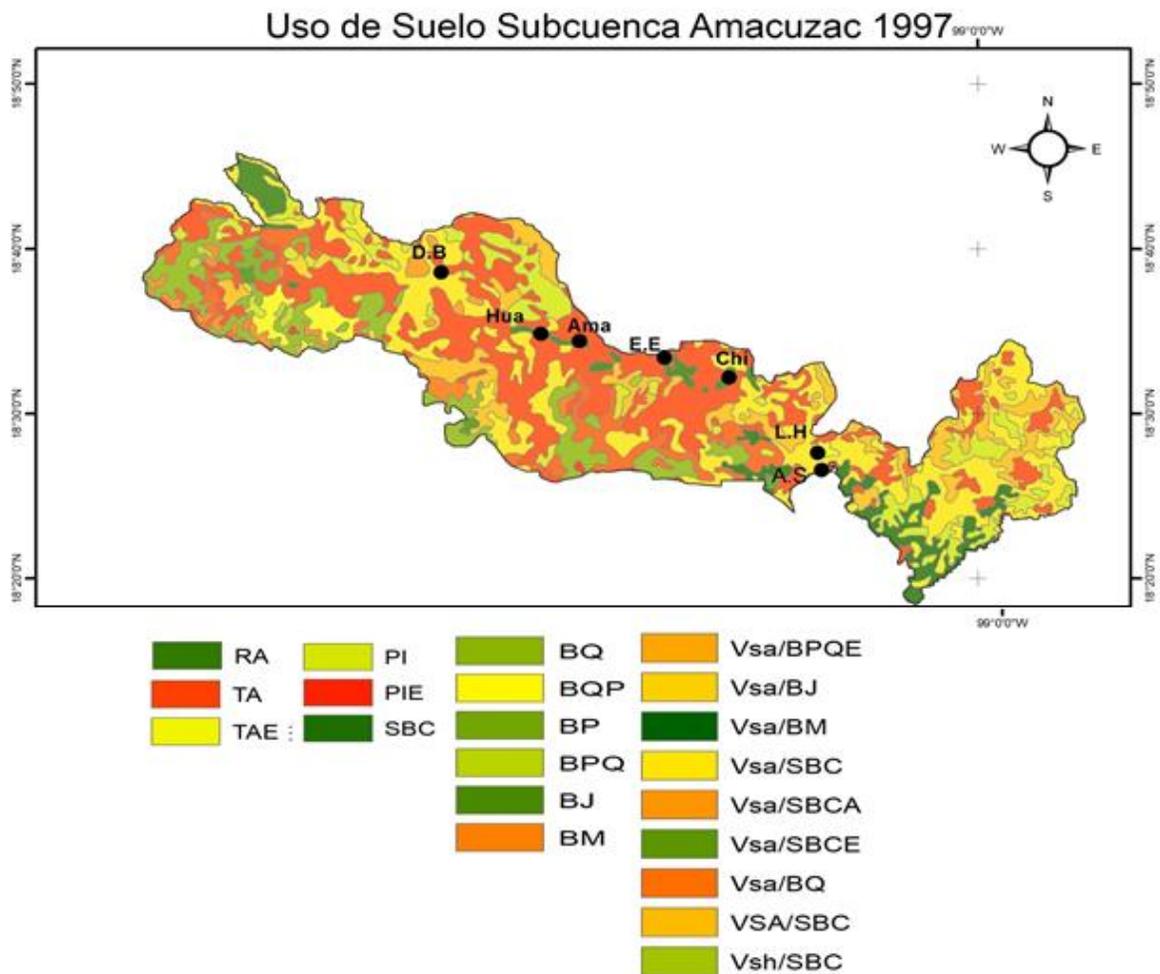
### 6.1. Análisis de Uso de Suelo

Los usos de suelo identificados en el estudio entre los tres periodos 1997, 2001, 2016 fueron 30 usos: agricultura de riego anual (RA), Agricultura de riego anual-semipermanente (RAS), Agricultura de riego semipermanente (RS), Agricultura de temporal anual (TA), Agricultura de temporal anual con erosión (TAE), Agricultura de temporal anual-permanente (TAP), Agricultura de temporal anual-semipermanente (TAS), Pastizal inducido (PI), Pastizal inducido con erosión (PIE), Selva baja caducifolia (SBC), Bosque de encino (BQ), Bosque de encino-pino (BQP), Bosque de pino (BP), Bosque de pino-encino (BPQ), Bosque de táscate (BJ), Bosque mesófilo de montaña (BM), Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino (Vsa/BQ), Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino (VSA/BQ), Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino (VSA/BQP), Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino (Vsa/BP), Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino con erosión (Vsa/BPQE), Vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate (Vsa/BJ), Vegetación secundaria arbustiva de bosque mesófilo de montaña (Vsa/BM), Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia (Vsa/SBC), Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia con agricultura nómada (Vsa/SBCA), Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia con erosión (Vsa/SBCE), Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia (VSA/SBC), Vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia (Vsh/SBC), Zona urbana (HA) y Cuerpo de agua.

En 1997 dentro de la subcuenca del río Amacuzac había 21 tipos de cobertura vegetal, para los años 2001 y 2016, las actividades antropogénicas habían dado lugar a 22 y 27 usos de suelo respectivamente (Figs. 4, 5, 6). Se observó que los tipos de vegetación TAE, PIE, Vsa/BPQE, Vsa/SBCA, Vsa/SBCE, fueron exclusivos de 1997, mientras que el tipo de suelo Vsa/BM fue registrado en 1997 y 2016 y Vsh/SBC únicamente se observó en 1997 y 2001. De acuerdo con la cobertura vegetal de 1997 a 2001 se presentó un cambio de siete tipos de uso de suelo (RAS, RS, HA, Cuerpo de

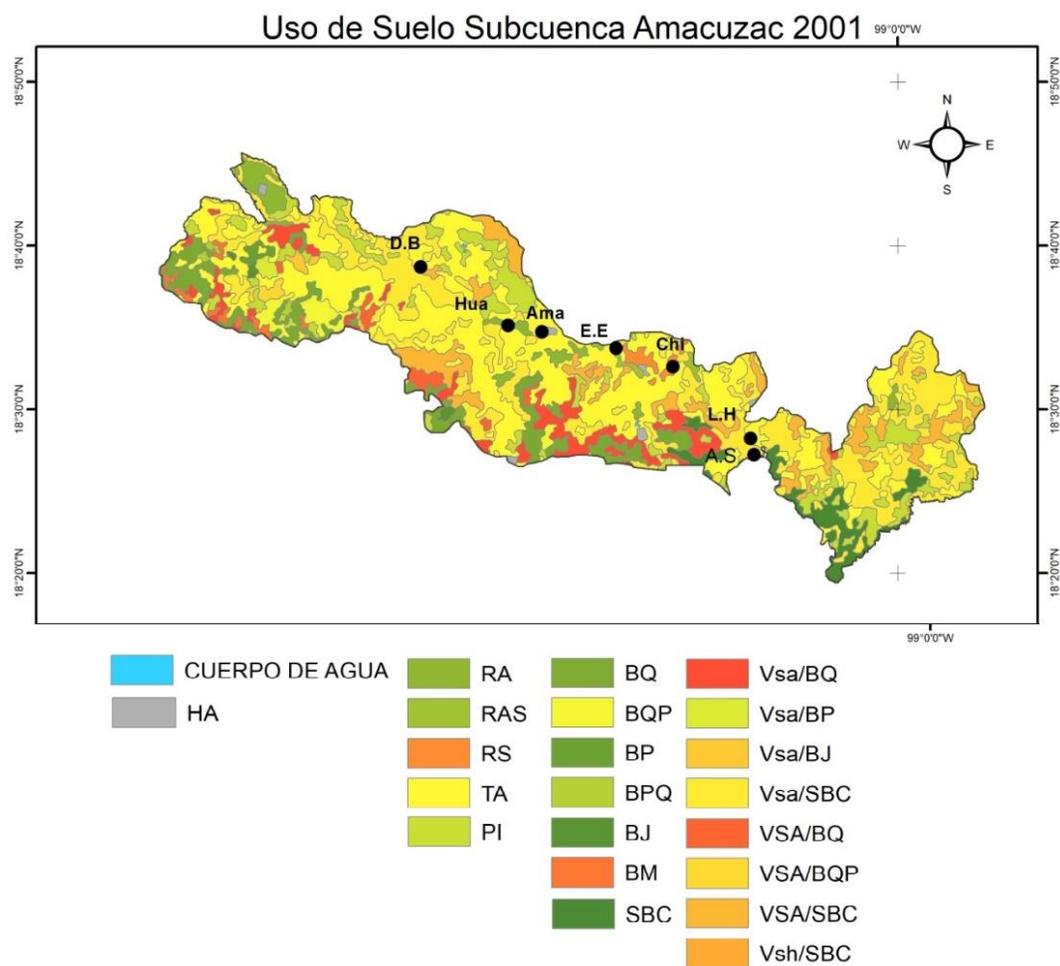
agua, Vsa/BP, VSA/BQ, VSA/BQP), mientras que en l 2016 se mostró un incremento de cinco tipos de vegetación (TAP, TAS, Vsa/BPQ, VSA/BP y VSA/BJ) (Figs. 4, 5, 6).

El análisis por localidad en los distintos años muestra que el uso de suelo predominante para el año 1997 en Dos Bocas y Agua Salada fueron Vsa/SBC y TA, mientras que para Huajintlán, Amacuzac y Chisco fueron RA, Vsa/SBC y TA, en cuanto a la vegetación por la que se regían las localidades estuvieron TA y RA en El Estudiante y TAE y Vsa/SBC en Las Huertas (Fig. 4).



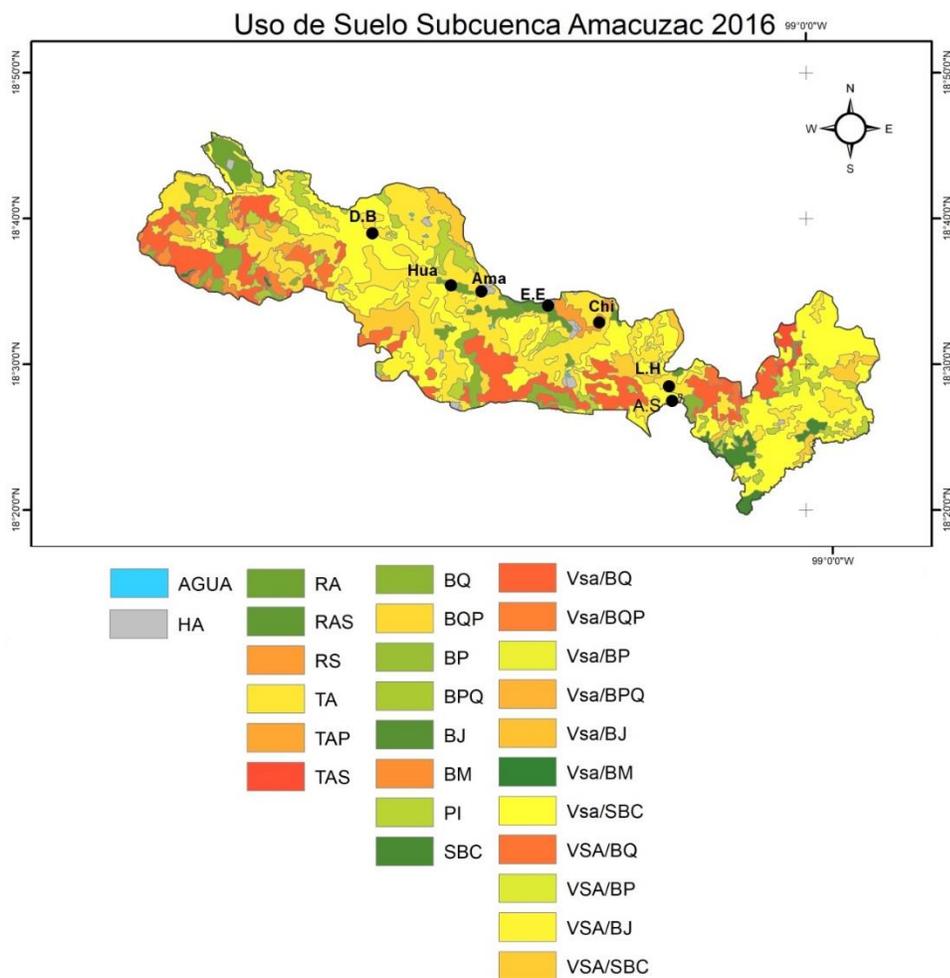
**Figura 4.** Mapa de uso de suelo en la subcuenca del río Amacuzac, en 1997.

Para el año 2001, Dos Bocas tenía el uso de suelo VSA/SBC y se perdió el tipo TA. Las localidades Huajintlán y El Estudiante conservaron la misma cobertura vegetal que había en 1997, sin embargo, en Amacuzac se presentó un cambio, y solo se mantuvo la TA. Para este año cerca de esa localidad ya había presencia de zona urbana (HA), así mismo, Chisco mantuvo el tipo de suelo registrado en 1997, excepto TA que fue sustituido por RS, en cuanto a Las Huertas y Agua Salada seguía predominando el uso de suelo TA y Vsa/SBC (Fig. 5).



**Figura 5.** Mapa de uso de suelo en la Subcuenca del río Amacuzac, en 2001.

Para el año 2016 las localidades donde se modificó el uso de suelo fue El Estudiante predominando RAS y presentándose HA, siendo que en el año anterior no había registro de HA, la segunda localidad que también se vio modificada fue Amacuzac, exhibiendo extensas áreas de HA, lo que indican una expansión, el resto de las localidades registraron los tipos de suelo presentes en 2001 (Fig. 6).



**Figura 6.** Mapa de uso de suelo en la subcuenca del río Amacuzac, en el 2016.

Las tasas de cambio de 1997 a 2001 fue positiva, ya que Vsa/SBCE se registró con un valor de 168.18 de tasa media anual (TMA), seguida de TA (23.87 TMA) y BEP (13.58 TMA), los usos de suelo con menores valores fueron BJ (0.74 TMA) y PI (0.67 TMA), indicando un aumento en el 2001. Las coberturas TAE, PIE, Vsa/BPQE, Vsa/BM, Vsa/SBCA y Vsh/SBC mostraron pérdida del 100% (Tabla 3). De 2001 a 2016, los usos

de suelo en aumento fueron TAS (18.58 TMA), Vsa/BP (14.52 TMA), cuerpo de agua (13.73 TMA), BJ (7.66 TMA), Vsa/BJ (8.30 TMA), HA (4.85 TMA) y Vsa/SBC (4.93 TMA), algunas unidades que tuvieron aumento en el periodo 1997-2001, se vieron afectadas con un decremento, como TA (-8.04 TMA), PI (-3.13 TMA), VSA/SBC (-3.44 TMA), BQP (-2.20 TMA), otras unidades como Vsa/SBCE se vieron afectadas en un 100 % TMA, al grado de desaparecer (cambio de uso o modificación), las unidades que se vieron disminuidas en el periodo 1997-2001 siguen perdiendo hectáreas como SBC, BQ y Vsa/BQ (-6.29 TMA, -4.97 TMA y -10.89 TMA respectivamente) (Tabla 3).

**Tabla. 3** usos de suelo y sus valores de tasa media de crecimiento anual en distintos periodos

Uso del suelo	1997 - 2001	2001 - 2016	Uso del suelo	1997 - 2001	2001 - 2016
RA	-1.47	-0.24	BM	-6.58	-100
RAS	0	5.18	Vsa/BQ	-3.92	10.90
RS	0	1.33	VSA/BQ	0	-100
TA	23.87	-8.05	VAS/BQP	0	-100
TAE	-100	0	Vsa/BP	0	14.52
TAP	0	0	Vsa/BPQE	-100	0
TAS	0	18.59	Vsa/BJ	-1.22	8.30
PI	0.67	-3.13	Vsa/BM	-100	0
PIE	-100	0	Vsa/SBC	-10.34	4.93
SBC	-3.42	-6.29	Vsa/SBCA	-100	0
BQ	-7.21	-4.97	Vsa/SBCE	168.18	-100
BQP	13.58	-2.21	VSA/SBC	8.01	-3.45
BP	-12.26	0.15	Vsh/SBC	-100	0
BPQ	-27.84	0.72	HA	0	4.86
BJ	0.74	7.67	Cuerpo de agua	0	13.73

Los usos del suelo se agruparon en tres categorías: vegetación natural (VN), zonas agrícolas (ZA, incluyendo actividad pecuaria) y zonas urbanas (ZH), esto con el fin de ver en estas tres categorías, el área conservada o el impacto ejercido. Para el sitio Dos Bocas, los porcentajes predominantes correspondieron a VN representando un 95.9 %, seguida de Agua Salada (94.58 %), registrando en ambos sitios porcentajes bajos de ZA y ZH. En cuanto al uso ZA se observaron porcentajes altos en Huajintlán (37.60) y Chisco (48.77 %), así como presencia de ZH, con porcentajes altos en Amacuzac (21.70 %) y El Estudiante (25.75 %.), Las Huertas, fue el único lugar donde la ZH aún no se presenta (Tabla 4).

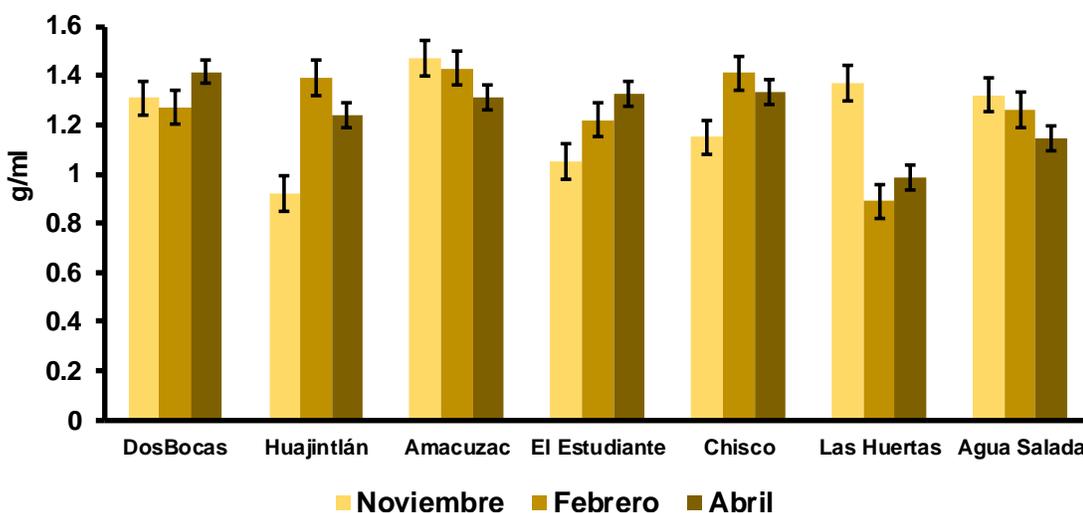
**Tabla 4.** Porcentaje de usos de suelo en el área de influencia de los sitios de estudio, a lo largo del río Amacuzac, Morelos

	<b>Zona agrícola %</b>	<b>Zona urbana %</b>	<b>Veg. natural %</b>
Dos Bocas	0.95	3.13	95.92
Huajintlán	37.60	6.43	56.23
Amacuzac	23.41	21.70	54.89
El Estudiante	17.10	25.57	57.33
Chisco	48.77	14.20	37.03
Las Huertas	13.05	0.00	86.95
Agua Salada	5.04	0.38	94.58

## 6.2. Características del sedimento del río

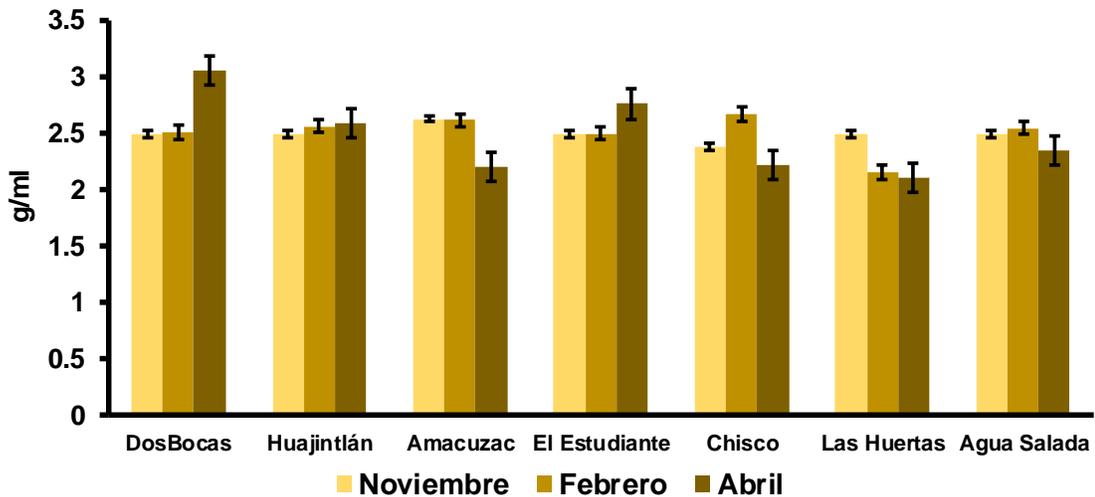
### 6.2.1. Propiedades físicas del sedimento

**Densidad aparente (Da):** El análisis edafológico en relación con la densidad aparente (Da) mostró un promedio general de  $1.25 \pm 0.04$  g/ml, observándose una mínima variación entre localidades siendo Amacuzac el que registró el valor más alto ( $1.40 \pm 0.05$  g/ml), seguida de Huajintlán ( $1.33 \pm 0.04$ g/ml). De manera mensual se presentó una mínima, variación siendo febrero el que registró el valor máximo ( $1.27 \pm 0.07$  g/ml). De manera espacial y mensual Amacuzac fue quien exhibió los valores más altos, registrando su máximo en noviembre (1.47g/ml) y febrero (1.43 g/ml), mientras que en abril fue Dos Bocas el sitio que registró el valor más alto (1.42 g/ml), seguida de Amacuzac (1.40 g/ml), en tanto que los valores mínimos se registraron en Huajintlán en noviembre (0.91 g/ml) y en Las Huertas en febrero (0.89 g/ml) y abril (0.99 g/ml) (Fig. 7). De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis no se observaron diferencias significativas entre localidades, ni mensuales. Sin embargo, se presentó una correlación positiva entre la Dr y Da, al igual que una correlación negativa entre Da y % de MO, C, Ca y % de arcilla (-0,74, -0,75, 069 y -0.52 %, respectivamente).



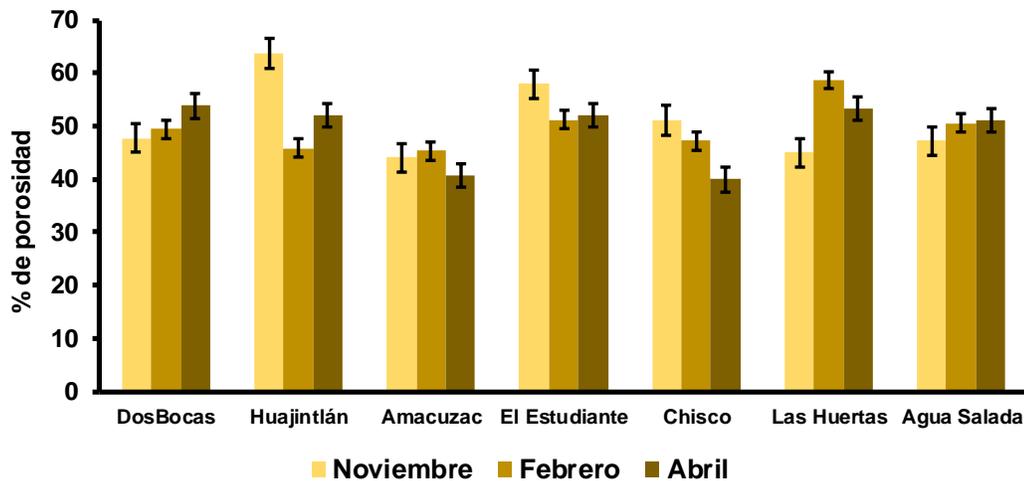
**Figura 7.** Densidad aparente entre localidades por meses.

**Densidad real (Dr):** Al igual que  $D_a$ ,  $D_r$  tuvo una mínima variación entre los sitios de estudio, registrando un promedio general de  $2.50 \pm 0.05$  g/ml. El análisis por localidad tuvo un valor alto en Dos Bocas ( $2.69 \pm 0.19$  g/ml) y un mínimo en Las Huertas ( $2.25 \pm 0.12$  g/ml). El análisis mensual mostró un valor alto en noviembre ( $2.50 \pm 0.03$  g/ml) y abril registró el más bajo ( $2.47 \pm 0.13$  g/ml). De acuerdo con el análisis espacial y temporal, se observó un máximo en Dos Bocas (3.07 g/ml) y otro en El Estudiante (2.76 g/ml) en abril, mientras que Las Huertas mostró los valores más bajos en febrero y abril (2.16 y 2.11 g/ml respectivamente). El resto de las localidades exhibió valores por debajo de 2.60 g/ml, a excepción de Amacuzac la cual registró valores de 2.63 y 2.62 g/ml en noviembre y febrero, al igual que Chisco, el cual mostró un valor de 2.67 g/ml en febrero. (Fig. 8). El análisis estadístico de Kruskal-Wallis no registró diferencias significativas, sin embargo, de acuerdo con el análisis de Spearman se observó una correlación negativa considerable entre  $D_r$  y %MO, %C y Ca con valores de -0.68, -0.68, -0.64 en el mismo orden.



**Figura 8.** Densidad Real entre localidades por meses

**Porosidad total:** De acuerdo con el análisis de porosidad total se registró un promedio general de  $49.93 \pm 1.26$  %. Se observó una mínima variación entre localidades, siendo Huajintlán, El Estudiante y Las Huertas los sitio que exhibieron el valor mayor de % de porosidad (53.87, 53.76 y 52.34 respectivamente). En cuanto al análisis mensual, se observó un valor alto en el mes de noviembre (50.98 %). El análisis espacial y temporal, indicó que Huajintlán fue el sitio que exhibió el valor más alto en noviembre (63.68 %), seguido de las localidades El Estudiante (57.96 %) en el mismo mes y Las Huertas en febrero (58.70 %). Mientras que el valor mínimo fue registrado en la localidad Amacuzac en febrero (40.74 %), el resto de las localidades exhibieron valores entre los 44 y 60 % (Fig. 9). El análisis estadístico de kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas entre localidades y meses, sin embargo, el análisis de correlación de Spearman tuvo una relación negativa considerable de  $-0.69$  ( $P < 0.05$ ).



**Figura 9.** Porcentaje de porosidad entre localidades por mes

**Textura:** El análisis reveló que la clase textural dominante es la arena, en todos los sitios y muestras estudiadas, presentándose más del 90 % de este sedimento, si bien se registraron porcentajes de arcilla y limo en uno o dos meses con valores por debajo del 5 %, con excepción de los sitios Dos Bocas, Amacuzac y El Estudiante, que registraron un % de limo superior a 5 en noviembre, al igual que Agua Salada que exhibió un valor de 7.6 % (arcilla) y 8 % (limo) en abril, a pesar de los porcentajes bajos de arcilla y limo, el tipo de sedimento que caracteriza a los sitios de estudio es arenoso. La localidad Las Huertas, reconoció un valor de arcilla de 18.8 (febrero) y 5.6 % (abril) y un valor de 5.6 (noviembre) y 18.4 % (febrero) de limo, lo que indica que esta localidad presenta un sedimento franco arenoso (Tabla 5). La prueba de Kruskal-Wallis registró una diferencia significativa entre meses del % de limo ( $P < 0.05$ ) y el análisis de correlación de Spearman indicó una correlación negativa considerable entre el % de arcilla con  $D_a$  y  $D_r$  (-0.52 cada uno) y una correlación positiva considerable entre % de arcilla y % de MO y entre % C y Ca (0.60, 0.61 y 0.62 respectivamente).

**Tabla 5.** Clase textural de las localidades por meses

		<b>Noviembre</b>	<b>Febrero</b>	<b>Abril</b>	<b>Clase textural</b>
<b>Dos Bocas</b>	% Arena	96	100.8	98.4	Arena
	% Arcilla	-5.6	0	-0.8	
	% Limo	9.6	-0.8	2.4	
<b>Huajintlán</b>	% Arena	99.6	100.8	98.8	Arena
	% Arcilla	-1.6	-2	-0.8	
	% Limo	2	1.2	2	
<b>Amacuzac</b>	% Arena	90	100.8	98.8	Arena
	% Arcilla	0.8	-1.6	1.2	
	% Limo	9.2	0.8	0	
<b>Estudiante</b>	% Arena	90	96.8	100.8	Arena
	% Arcilla	3.2	0.8	-0.8	
	% Limo	6.8	2.4	0	
<b>Chisco</b>	% Arena	93.6	98.4	96.8	Arena
	% Arcilla	2.8	-1.2	1.6	
	% Limo	3.6	2.8	1.6	
<b>Huertas</b>	% Arena	97.2	62.8	98.8	Franco-arenoso
	% Arcilla	-2.8	18.8	5.6	
	% Limo	5.6	18.4	-4.4	
<b>Agua Salada</b>	% Arena	98.8	102	84.4	Arena
	% Arcilla	-2.4	-0.8	7.6	
	% Limo	3.6	-1.2	8	

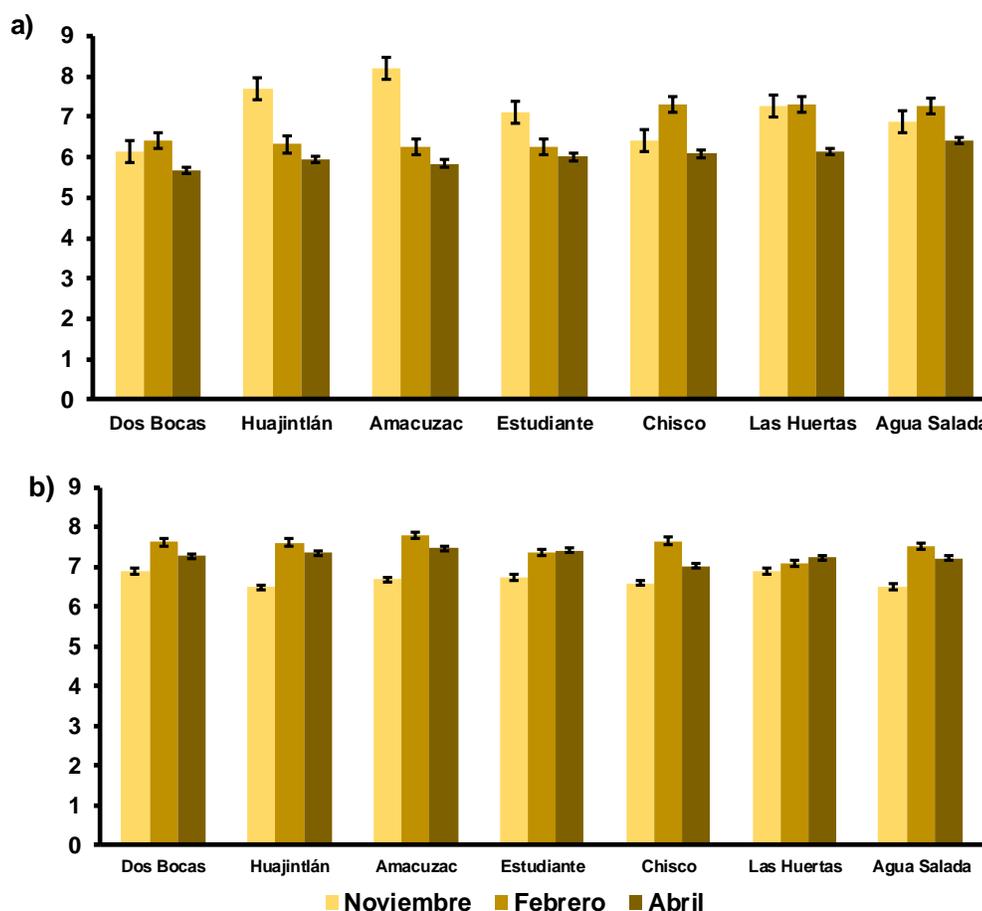
**Color:** Los resultados muestran que la coloración dominante en todos los sitios de estudio fueron las distintas tonalidades pardas y grises, siendo el café pardo el que más preponderó. El color en estado seco registró tonalidades claras de los dos colores antes mencionados, una vez que estos entraron en contacto con el agua, sus tonalidades pasaron a tomar una coloración más opaca (Tabla 6).

**Tabla 6.** Color de suelo en estado húmedo y seco

		Seco		Húmedo	
		Codigo	Color	Codigo	Color
<b>Dos Bocas</b>	Noviembre	10-YR	6/3 café palido	10-YR	4/3 café
	Febrero	10-YR	5/2 café grisáceo	10-YR	4/1 gris oscuro
	Abril	10-YR	6/3 café palido	10-YR	4/2 café grisáceo oscuro
<b>Huajintlán</b>	Noviembre	10-YR	5/3 café	10-YR	2/2 café muy oscuro
	Febrero	10-YR	6/2 gris pardo	10-YR	3/1 gris muy oscuro
	Abril	10-YR	6/2 gris pardo	10-YR	4/2 café grisáceo oscuro
<b>Amacuzac</b>	Noviembre	10-YR	5/2 café grisáceo	10-YR	3/1 gris muy oscuro
	Febrero	10-YR	5/2 café grisáceo	10-YR	4/2 café grisáceo oscuro
	Abril	10-YR	7/1 gris claro	10-YR	4/2 café grisáceo oscuro
<b>El Estudiante</b>	Noviembre	10-YR	6/4 café amarillento claro	10-YR	4/3 café
	Febrero	10-YR	6/2 gris pardo	10-YR	3 /1gris muy oscuro
	Abril	10-YR	5/2 café grisáceo	10-YR	4/2 café grisáceo oscuro
<b>Chisco</b>	Noviembre	10-YR	5/3 café	10-YR	4/3 café
	Febrero	10-YR	6/3 café palido	10-YR	5/3 café
	Abril	10-YR	6/3 café palido	10-YR	4/1 gris oscuro
<b>Las Huertas</b>	Noviembre	10-YR	5/1 gris	10-YR	3/1 gris muy oscuro
	Febrero	10-YR	5/1 gris	10-YR	2/1 negro
	Abril	10-YR	4/2 café grisáceo oscuro	10-YR	2/1 negro
<b>Agua salada</b>	Noviembre	10-YR	6/2 gris pardo claro	10-YR	4/2 café grisáceo oscuro
	Febrero	10-YR	6/3 café palido	10-YR	5/3 café
	Abril	10-YR	4/3 café	10-YR	3/2 gris muy oscuro

**Potencial de Hidrógeno (pH):** Se obtuvo un promedio de pH en agua (pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>) de 6.62±0.15. Por localidades se registró una mínima variación, siendo Amacuzac el que exhibió el valor más alto (6.77±0.73) y Dos Bocas el mínimo (6.08±0.22), estos valores indican que el sedimento es ligeramente ácido. De manera mensual, noviembre registró un valor de 7.11±0.27, siendo este el más alto, considerado como ligeramente alcalino, el valor más bajo se registró en abril (6.2±0.09), colocándolo como ligeramente ácido. De acuerdo con el análisis espacial se pudo observar que la mayoría de las localidades exhibieron un pH ligero y moderadamente ácido con valores entre 5 y 6 en uno o dos meses de estudio, observándose en abril, en Dos Bocas, Huajintlán y Amacuzac, aguas más ácidas. En noviembre y febrero se registraron valores de pH ligeramente alcalinos, con excepción de Amacuzac el cual presentó en noviembre un valor de 8.22 indicando una alcalinidad mayor (Fig. 10a).

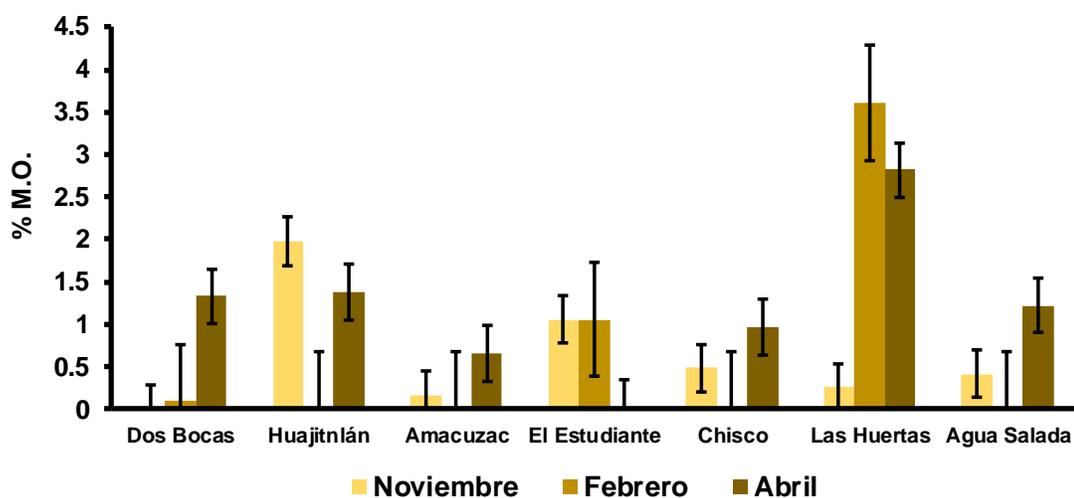
El análisis del pH en cloruro de potasio (pHKCl), mostró un promedio general de  $7.17 \pm 0.09$ , lo que representa sedimentos ligeramente alcalinos. De manera espacial, se observó una variación mínima con un valor de 7.08 a 7.32, siendo Amacuzac el que exhibió el promedio más alto (7.32), en cuanto al análisis mensual se registró en noviembre un valor de 6.69 ligeramente ácido, en febrero y abril se mostró un pH ligeramente alcalino. El análisis por localidad y por estación, registró en febrero y abril un pH ligeramente alcalino para todas las localidades, siendo Amacuzac el sitio que tuvo un pH alto de 7.79, en noviembre se registraron valores por debajo de 7, lo que indicó que el sedimento se mostraba ligeramente ácido, siendo la localidad Agua Salada la que exhibió el pH más bajo (6.51) (Fig. 10b). El análisis estadístico de Kruskal-Wallis mostró una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre meses en la lectura de pH en agua y en KCl. Así mismo se registró una correlación positiva considerable entre pHKCl y el % de arena y una correlación negativa considerable con el % de limo.



**Figura 10.** Variación espacial y estacional del potencial de hidrogeno en agua (H<sub>2</sub>O)(a) y en cloruro de potasio (KCl) (b)

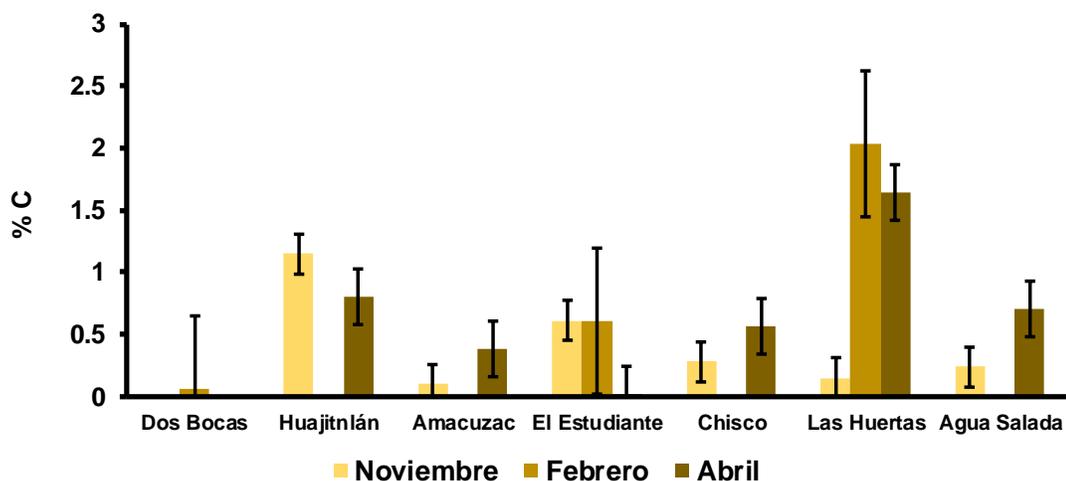
## 6.2.2. Propiedades químicas del sedimento del río

**Materia Orgánica (MO):** El porcentaje de materia orgánica (% MO), tuvo un promedio general de  $0.84 \pm 0.22$ . Las localidades Las Huertas ( $2.23 \pm 1.01\%$ ) y Huajintlán ( $1.12 \pm 0.59\%$ ), tuvieron los valores máximos, mientras que el porcentaje mínimo se observó en la localidad Amacuzac ( $0.28 \pm 0.20\%$  MO). El análisis mensual indicó que en abril el % de MO fue mayor ( $1.20 \pm 0.32$ ). La MO entre localidades y por meses fue diferente, mostró un ligero incremento en Las Huertas en febrero (estiaje frío) y abril (estiaje cálido) entre 3.61 y 2.82 % de MO respectivamente, en algunas localidades no hubo presencia de MO como Dos Bocas en noviembre y Huajintlán, Amacuzac, Chisco y Agua Salada en febrero, el resto de los sitios de estudio presentaron una variación entre 0.17 y 1.38 (Fig. 11).



**Figura 11.** Porcentaje de Materia orgánica entre localidades y meses

**Carbono Orgánico (C):** Respecto al porcentaje de carbono (%C), se obtuvo un promedio general de  $0.62 \pm 0.13\%$  C. Por localidad y mensualmente se observó el mismo comportamiento que en el % de MO, exhibiendo la localidad Las Huertas y el mes de abril los valores máximos ( $1.28 \pm 0.58$  y  $0.590 \pm 0.21\%$  C respectivamente). El análisis espacial y temporal, mostró valores altos en febrero y abril (2.04 y 1.64 %C respectivamente) así como la ausencia de este factor en noviembre en Dos Bocas y en febrero en los sitios de Huajintlán, Amacuzac, Chisco y Agua Salada (Fig. 12).



**Figura 12.** Porcentaje de Carbono Orgánico entre localidades y meses

La prueba de Kruskal-Wallis, no registró diferencias significativas entre localidades y meses con respecto al % de M.O y % de C, sin embargo, de acuerdo al análisis de correlación de Spearman, estos dos factores tuvieron una correlación positiva considerable entre el % MO y Ca ( $R=0.69$ ,  $P<0.05$ ), % de arcilla ( $R=0.60$ ,  $P<0.05$ ), y una correlación negativa considerable con Da y Dr ( $R=-0.74$  y  $-0.68$   $P<0.05$  respectivamente), en cuanto al % de C se registró por igual una correlación positiva considerable con Ca ( $R=0.70$ ,  $P<0.05$ ) y % Arcilla ( $R=0.61$ ,  $P<0.05$ ) así como una relación negativa considerable entre Da y Dr con un valor de ( $R=-0.69$  y  $-0.68$ ,  $P>0.05$ ).

### 6.3 Parámetros de calidad y condición de hábitat

La valoración de la calidad de hábitat de las siete localidades se muestra en la tabla 7. Las localidades que tuvieron una calidad de tipo marginal (Huajitlán, Amacuzac y Las Huertas), siendo Huajitlán la que exhibió el valor alto en noviembre (0.55) y más bajos en diciembre (0.38), obteniendo un promedio bajo (0.45), siendo las variables tales como la pérdida y reducción de la vegetación, estabilidad de la ribera (presencia o ausencia de erosión), velocidad y profundidad y la deposición de sedimentos, las que se vieron principalmente afectadas. Al igual que Huajitlán, la localidad Amacuzac registró un valor máximo en noviembre (0.64) y un mínimo en diciembre (0.52) con un promedio de 0.59. La localidad Amacuzac tiene presencia de zona urbana, y actividad

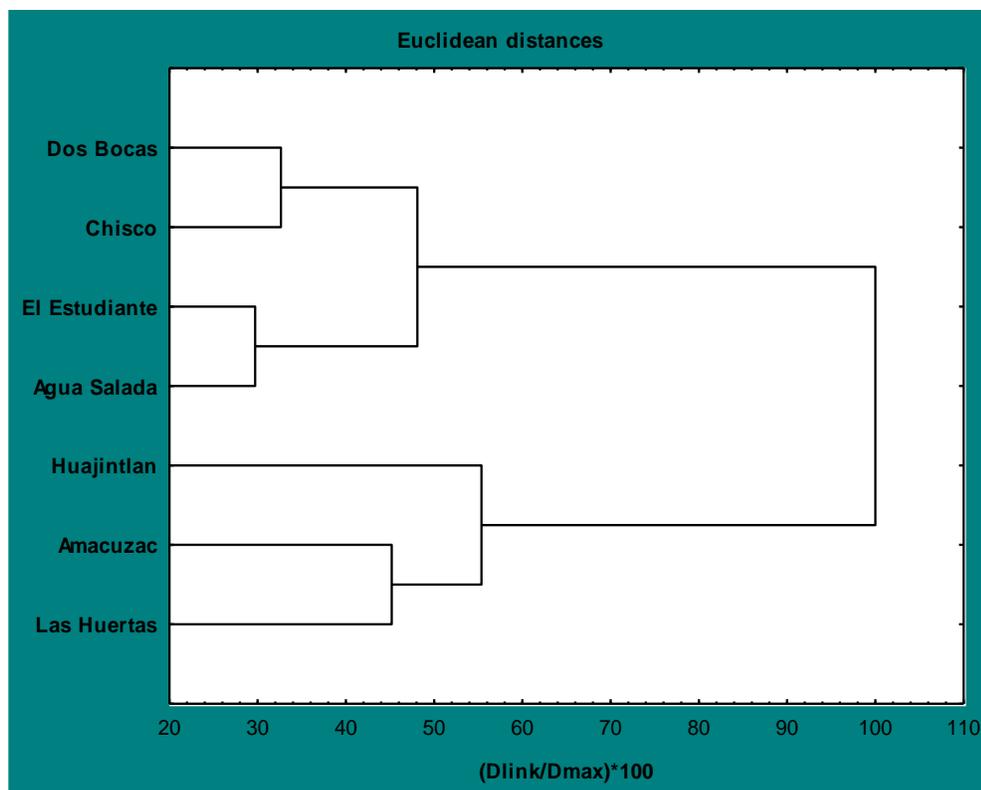
agrícola, lo que propicia que haya una alteración en el cauce, como la canalización por la presencia de puentes para circulación de vehículos automotores, reducción de la vegetación en ambos márgenes, así como la erosión. Las Huertas registra un valor alto (0.54) en diciembre y un mínimo en febrero (0.49), con un promedio de 0.51, cerca de esta localidad se llevan a cabo actividades recreativas (balnearios turísticos), presentando erosión de ribera, mayor visibilidad del sustrato rocoso.

Los sitios considerados como zona de referencia (Dos Bocas y Agua Salda) registraron una condición de hábitat subóptimo, mostrando calificaciones altas en la mayoría de los factores internos (Tabla 7), ambas localidades exhibieron su valor máximo en noviembre (0.83 cada localidad) y mínimo en abril (0.74 y 0.64 respectivamente), con un promedio de 0.78 Dos Bocas y 0.70 Agua Salada; ambos sitios mostraron una heterogeneidad y estabilidad del sustrato lo que permite que el sitio sea apto para ser colonizado por la fauna íctica, así como una baja deposición de sedimentos, una mayor estabilidad en los bancos con una baja erosión, una mayor protección de la vegetación, esto en el caso de Dos Bocas, ya que la localidad de Agua Salada muestra ligeros desmontes de esta variable y ligera actividad agrícola. Así mismo, las localidades de la parte media del río El Estudiante y Chisco presentan una condición de hábitat subóptimo, mostrando El Estudiante un valor máximo en diciembre (0.85) y mínimo en febrero (0.56), en tanto que Chisco tuvo su valor máximo en diciembre (0.70) y el mínimo en abril (0.56) mostrando ambas localidades como factor de influencia la presencia de zonas urbanas.

**Tabla 7.** Valoración de los parámetros de condición de hábitat por temporada

	Nov	Feb	Abr	Dic	Promedio	Condición VANR (2004)
Dos Bocas	0.83	0.78	0.74	0.76	0.78	Subóptimo
Huajintlán	0.55	0.46	0.41	0.38	0.45	Marginal
Amacuzac	0.64	0.63	0.56	0.52	0.59	Marginal
El Estudiante	0.85	0.56	0.64	0.71	0.69	Subóptimo
Chisco	0.67	0.69	0.65	0.70	0.67	Subóptimo
Las Huertas	0.53	0.49	0.51	0.54	0.51	Marginal
Agua Salada	0.83	0.69	0.64	0.65	0.70	Subóptimo

De acuerdo con las calificaciones del hábitat y al análisis de conglomerados, se formaron dos grupos, observándose que el primero fue conformado por las localidades con una condición subóptima, dentro de este grupo se formaron dos subgrupos, el primero constituido por las localidades Dos Bocas y Chisco, las cuales presentan una mayor protección de la vegetación en ambos márgenes, a diferencia del segundo subgrupo conformado por El Estudiante y Agua Salada las cuales exhibieron una reducción en la vegetación de alguno de los márgenes, mientras que el segundo grupo lo conformaron las localidades que mostraron una condición de hábitat marginal, viéndose aislada Huajintlán, la cual presentó los valores de calificación más bajos (0.45) (Fig. 13).

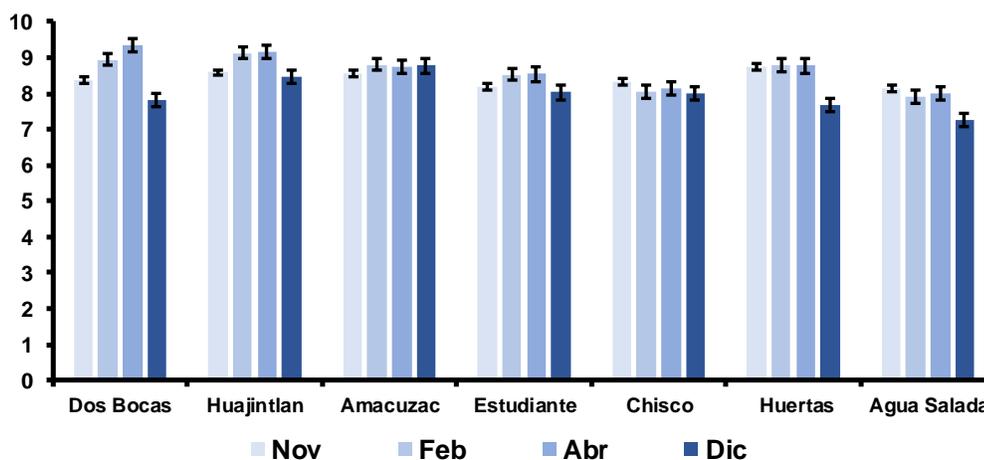


**Figura 13.** Agrupación de los valores promedio de las calificaciones de condición de calidad de hábitat por localidad

## 6.4. Parámetros del agua

### 6.4.1. Parámetros físicos del agua

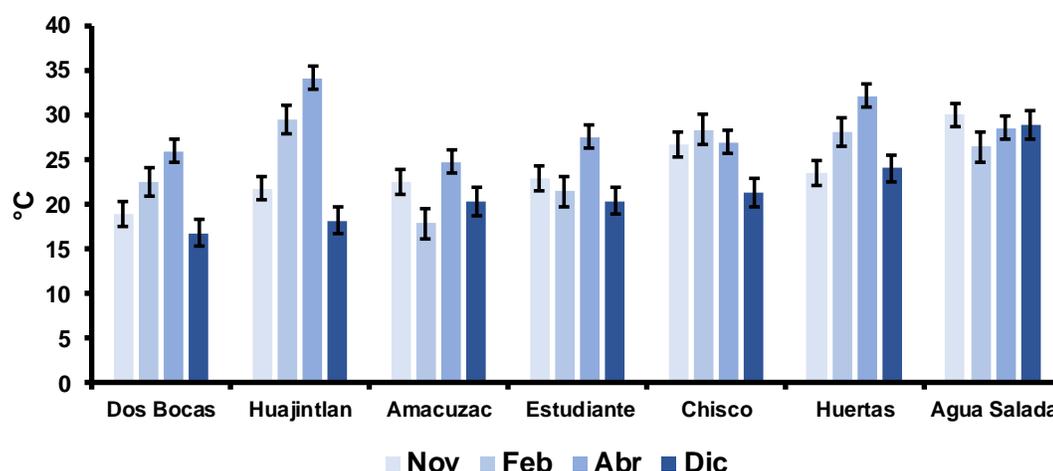
De forma general el agua del río Amacuzac, registró un valor promedio de pH de  $8.4 \pm 0.1$ , lo que representa aguas alcalinas. El análisis por sitio de estudio reconoció que Huajintlán exhibió el máximo ( $8.8 \pm 0.18$ ) y Agua Salada el mínimo ( $7.8 \pm 0.20$ ). En cuanto al análisis por meses el promedio máximo corresponde a abril ( $8.67 \pm 0.18$ ) y el mínimo a diciembre ( $8.0 \pm 0.19$ ). El análisis por localidades y meses reportó que los valores máximos se observaron en Dos Bocas en febrero (9.0) y abril (9.4) y en Huajintlán (9.1 y 9.2 respectivamente) y los mínimos en Agua Salada, Las Huertas y Dos Bocas (7.3, 7.7 y 7.8 en el mismo orden) todas en diciembre. El resto de los sitios, mostraron valores arriba de 8.0 en los cuatro meses de estudio, excepto Agua Salada que tuvo un valor de 7.9 en febrero. De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis, se registró una diferencia significativa entre localidades y por meses, con un valor de significancia de  $P < 0.05$ . Siendo Agua Salada el sitio que marco esa diferencia debido a que registró el valor promedio más bajo (7.8) (Fig. 14).



**Figura 14.** Comparación de los valores de pH de manera espacial y temporal.

La lectura de la temperatura en forma general indicó un promedio de  $24.6 \pm 0.8$  °C. El análisis por localidades registró que Agua Salada presentó el valor máximo ( $28.45 \pm 0.75$  °C) y Dos Bocas el mínimo de  $21.02 \pm 2.02$  °C. El análisis por meses de

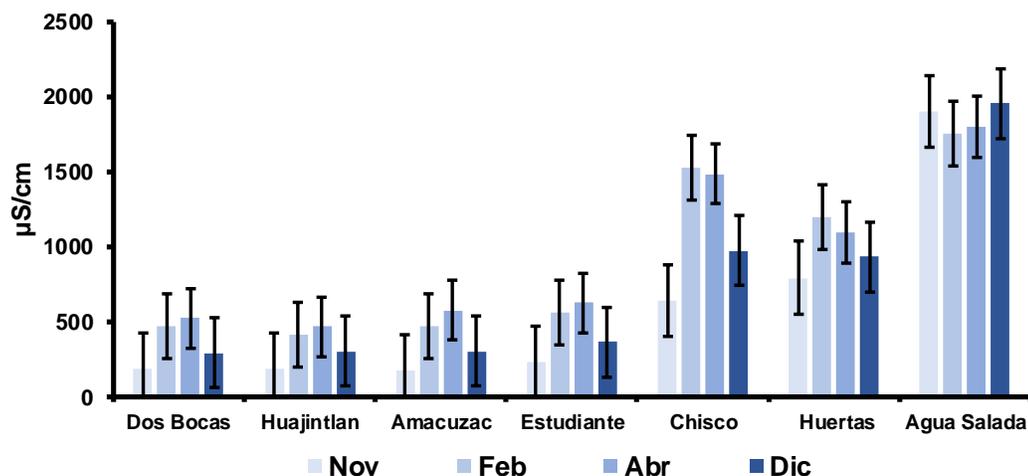
estudio mostró en abril el valor máximo ( $28.55 \pm 1.27$  °C) y diciembre el mínimo ( $21.40 \pm 1.52$  °C). El análisis por sitio de estudio y meses mostró que las localidades Huajintlán y las Huertas en abril y Agua Salada en noviembre tuvieron los valores máximos ( $34.1^\circ\text{C}$ ,  $32.1^\circ\text{C}$   $30.0^\circ\text{C}$  respectivamente) y los mínimos se observaron en Dos Bocas y Amacuzac ( $16.8^\circ\text{C}$  en diciembre y  $17.8$  °C en febrero, en el mismo orden). El resto de los sitios de estudio exhibieron valores arriba de los  $20^\circ\text{C}$ , excepto Dos Bocas en Noviembre ( $18.9$ ) y Huajintlán en diciembre ( $18.2^\circ\text{C}$ ) (Fig.15) De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis, se registró una diferencia significativa por estación y por meses con un valor de significancia  $P < 0.05$ .



**Figura 15.** Comparación de los valores de temperatura (°C) de manera espacial y temporal.

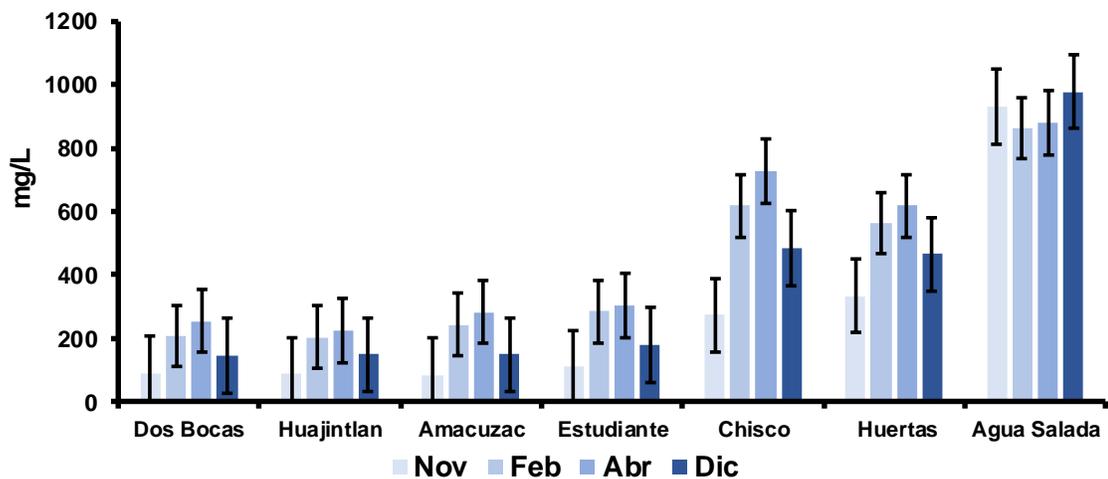
La conductividad tuvo un promedio general de  $791.04 \pm 108.8$   $\mu\text{s/cm}$ . Los sitios de estudio, río abajo mostraron los valores más altos de manera espacial, siendo la localidad Agua Salada la que presentó el valor máximo ( $1854.38 \pm 45.58$   $\mu\text{s/cm}$ ), seguida de Chisco y Las Huertas ( $1155.25 \pm 215.03$  y  $1004.63 \pm 89.70$   $\mu\text{s/cm}$  en el mismo orden), Huajintlán exhibió el valor mínimo ( $338.88 \pm 63.19$   $\mu\text{s/cm}$ ). El análisis mensual mostró un valor máximo en abril ( $938.21 \pm 201$   $\mu\text{s/cm}$ ) y un mínimo en diciembre ( $729.71 \pm 233.87$   $\mu\text{s/cm}$ ). El análisis por localidades y meses indicó que Agua Salada, muestra los valores más altos de manera espacial y temporal, registrando su máximo en diciembre ( $1955$   $\mu\text{s/cm}$ ), seguida de Chisco y Las Huertas que registran sus máximos en febrero ( $1530.5$  y  $1199$   $\mu\text{s/cm}$  en el mismo orden), los valores más bajos se observaron en Amacuzac, Huajintlán y Dos Bocas ( $169.5$ ,  $179.5$  y  $181$   $\mu\text{s/cm}$  respectivamente) en noviembre. El

resto de las localidades mostraron valores por arriba de los 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con excepción de Dos Bocas en diciembre presentando un valor de 290  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y El Estudiante en noviembre (225.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Fig.16). El análisis estadístico de Kruskal-Wallis arrojó una diferencia significativa entre sitios ( $P < 0.05$ ).



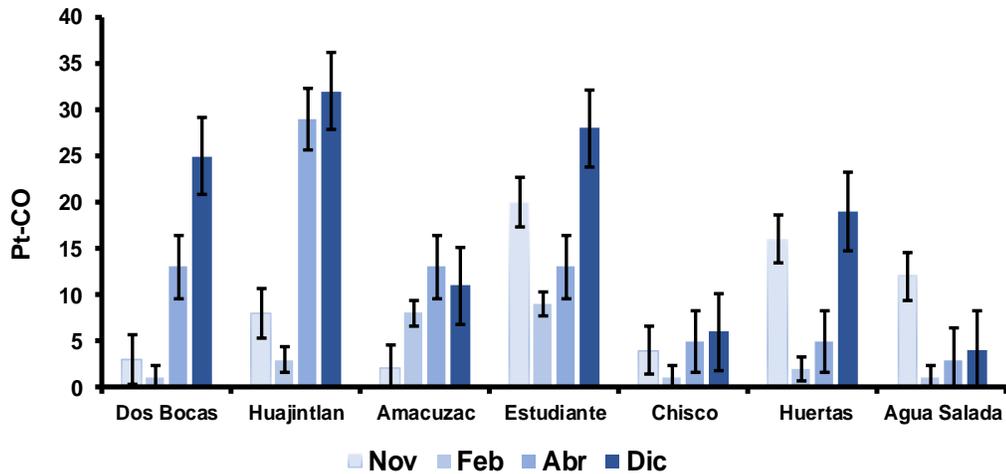
**Figura 16.** Comparación de los valores de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de manera espacial y temporal.

El total de sólidos disueltos (TSD) registró un promedio de  $383.6 \pm 52.9$  g/L. Por localidades se observó un valor máximo en Agua Salada ( $912.5 \pm 26.17$  mg/L) y el mínimo en Dos Bocas ( $174.25 \pm 35.99$ ). El análisis mensual, mostró un valor máximo en abril ( $470.28 \pm 100.43$  mg/L) y el mínimo en febrero ( $273.21 \pm 116.06$  mg/L). El análisis por sitio, señala que Agua salada registró una concentración alta de TSD, siendo los meses de diciembre y noviembre, donde se observó un valor alto (978 y 930 mg/L respectivamente), seguida de Chisco (727.5 y 617.5 mg/L en abril y febrero) y Las Huertas en abril (618 mg/L), el resto de los puntos de muestreo, mostraron valores con una variación entre 90 a 564 mg/L (Fig. 17). De acuerdo con el análisis de Kruskal-Wallis se registró una diferencia significativa de  $P < 0.05$  por localidad, mientras que mensualmente no hubo diferencias.



**Figura 17.** Comparación de los valores de total de solidos disueltos (TSD) de manera espacial y temporal.

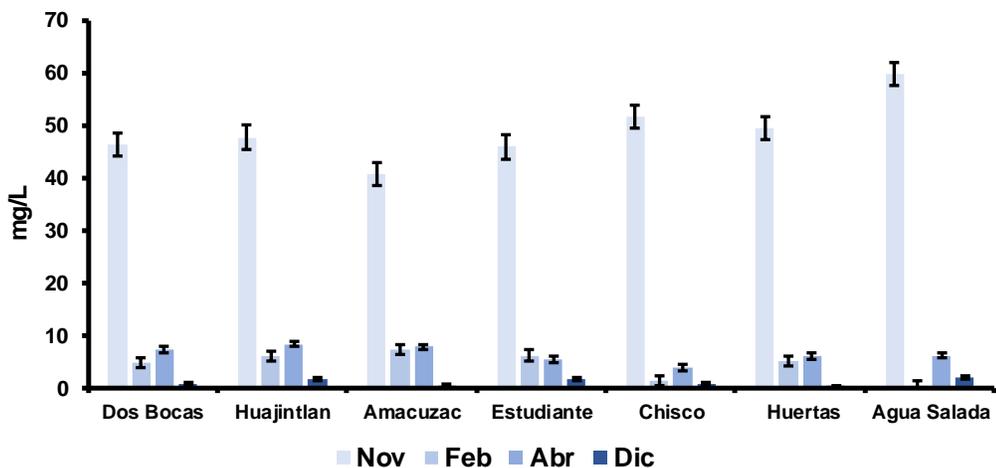
El color mostró una variación a lo largo del periodo de estudio, registrando un promedio general de  $10.6 \pm 1.7$  Pt-CO. El análisis por localidad presento un valor máximo en Huajintlán ( $18 \pm 7.31$  Pt-CO) y el mínimo en Chisco ( $4 \pm 1.08$  Pt-CO). El análisis mensual, arrojó un valor alto en diciembre ( $17 \pm 4.18$  Pt-CO) y un valor bajo en febrero ( $3.57 \pm 1.30$  Pt-CO). En el análisis por sitio se observaron cuatro valores altos, dos de ellos en Huajintlán, uno en abril (29 Pt-CO) y otro en diciembre (32 Pt-CO), el tercer valor en El Estudiante (28 Pt-CO) y el cuarto en Dos Bocas (25 Pt-CO) en diciembre. El resto de los puntos de estudio, registraron valores por debajo de los 13 Pt-CO, de manera espacial y temporal, a excepción de la localidad Las Huertas que registró dos valores relativamente altos en temporadas de estiaje frío (16 y 19 Pt-CO, en noviembre y diciembre respectivamente), El Estudiante mostró un valor de 20 Pt-CO en noviembre (Fig. 18) De acuerdo con el análisis de Kruskal-Wallis se observa que hay una diferencia de esta variable entre meses de estudio ( $P < 0.05$ ), sin embargo, por sitio de estudio no se registró diferencia alguna.



**Figura 18.** Comparación de los valores de color total (Pt-CO) de manera espacial y temporal.

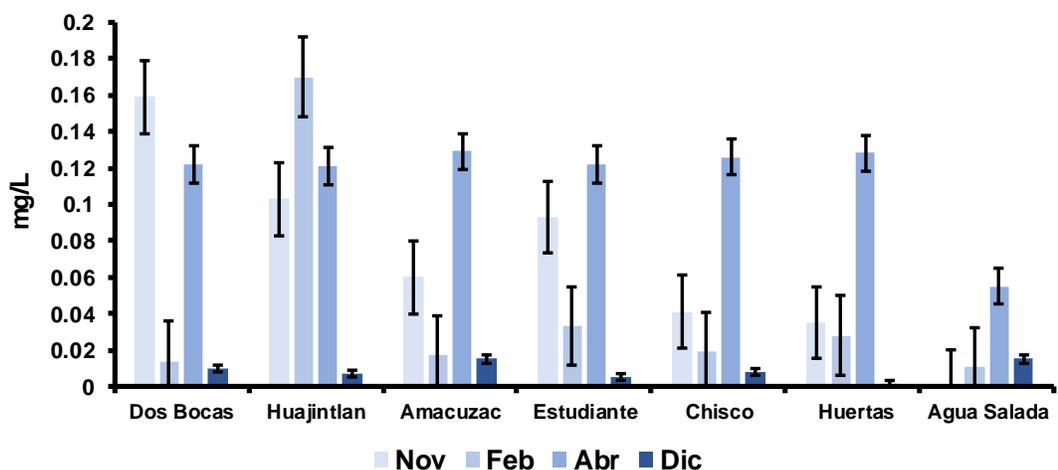
#### 6.4.2. Parámetros químicos del agua

De acuerdo con el análisis de nitratos ( $\text{NH}_3$ ) se registró un promedio general de  $15.1 \pm 3.8$  mg/L. Por sitio se observó un valor alto en Agua Salada ( $17.05 \pm 14.30$  mg/L) y un valor bajo en Amacuzac ( $13.98 \pm 9.06$  mg/L). Mensualmente, el mes de noviembre fue el que registró el valor más alto ( $48.8 \pm 2.24$  mg/L), y el mínimo en diciembre ( $0.94 \pm 0.26$  mg/L). De manera espacial y temporal todas las localidades exhibieron los valores mayores en noviembre, registrándose dos máximos, uno en Agua Salada (59.8 mg/L) y otro en Chisco (51.7 mg/L). El valor mínimo se presentó en diciembre en Las Huertas (0.1 mg/L), el resto de los sitios de estudio exhibieron valores entre 0.4 a 1.6 mg/L en este mismo mes, Agua Salada mostró su mínimo en febrero (0.4 mg/L) (Fig. 19). El análisis estadístico de Kruskal-Wallis arroja una diferencia significativa entre meses con un valor de significancia de  $P < 0.05$ .



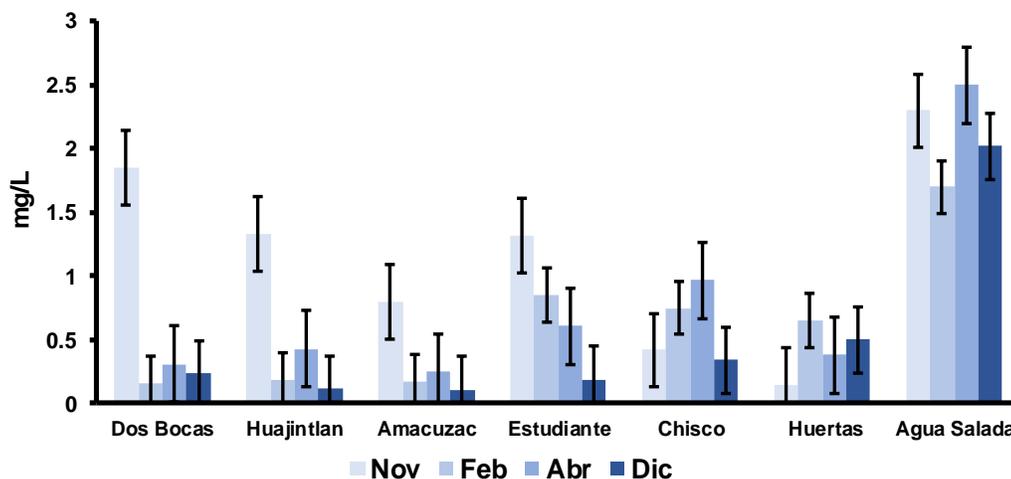
**Figura 19.** Comparación de los valores de nitratos, de manera espacial y temporal.

El nitrito ( $\text{NH}_2$ ) mostró un promedio general de  $0.06 \pm 0.01$  mg/L. El análisis por localidad registró un valor alto ( $0.06 \pm 0.03$  mg/L) en Amacuzac y El Estudiante y el valor bajo en Agua salada ( $0.02 \pm 0.01$  mg/L). De manera mensual el análisis exhibió en abril el valor más alto ( $0.11 \pm 0.01$  mg/L), diciembre el más bajo ( $0.01 \pm 0.009$  mg/L). De acuerdo con los valores por sitio de estudio y meses, se registró un valor alto en Huajintlán (0.17 mg/L, febrero) y otro en Dos Bocas (0.16 mg/L, noviembre), Agua Salada y Las Huertas mostraron valores bajos en noviembre y diciembre (0 mg/L 0.001 mg/L respectivamente). El resto de los puntos de muestreo registraron valores por debajo de 0.10 mg/L a lo largo del periodo de estudio, con excepción de abril, donde se observó que la mayoría de las localidades presentaron valores de 0.12 y 0.13 mg/L (Fig. 20). El análisis estadístico Kruskal-Wallis registró una diferencia significativa entre meses ( $P < 0.05$ ).



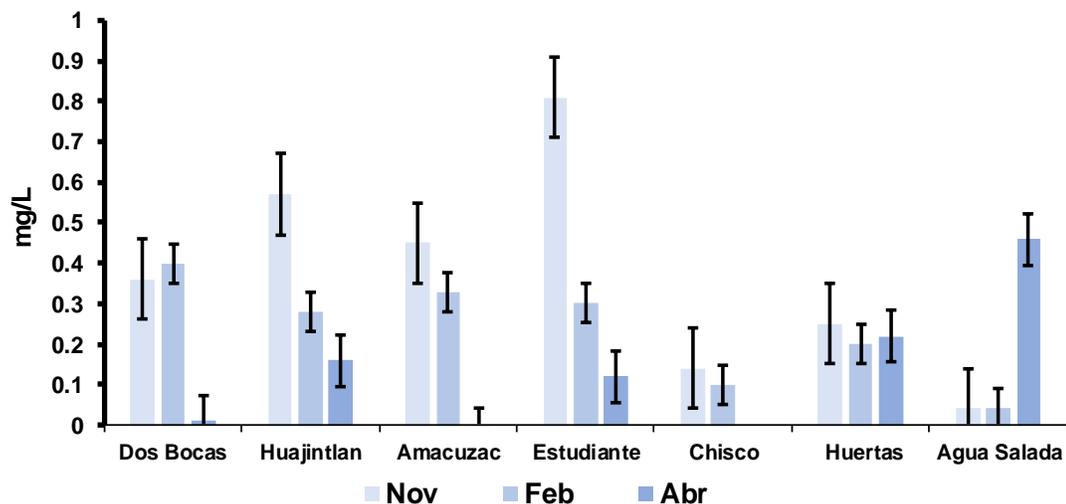
**Figura 20.** Comparación de los valores de nitritos, de manera espacial y temporal.

El nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3\text{N}$ ) registró un promedio general de  $0.77 \pm 0.13$  mg/L. El análisis espacial, mostró un valor alto en Agua salada de  $2.13 \pm 0.17$  mg/L, y el más bajo en Amacuzac ( $0.33 \pm 0.16$  mg/L). De manera estacional se mostró que noviembre registró el valor mayor ( $1.16 \pm 0.28$  mg/L) y el mínimo en diciembre ( $0.50 \pm 0.25$  mg/L). El análisis por sitio de estudio y meses indicó que Agua Salada registró los valores máximos en abril (2.5 mg/L), noviembre (2.3 mg/L) y diciembre (2.2 mg/L), seguida de Dos Bocas, Huajintlán y El Estudiante, (1.85, 1.33 y 1.32 mg/L en el mismo orden) en noviembre. Los valores mínimos se registraron en Huajintlán (0.11) y Amacuzac (0.12 mg/L) en diciembre, el resto de las localidades tuvieron valores entre los 0.15 y 0.97 mg/L a lo largo del periodo de estudio (Fig. 21). El análisis estadístico no arrojó una diferencia significativa espacial y temporal.



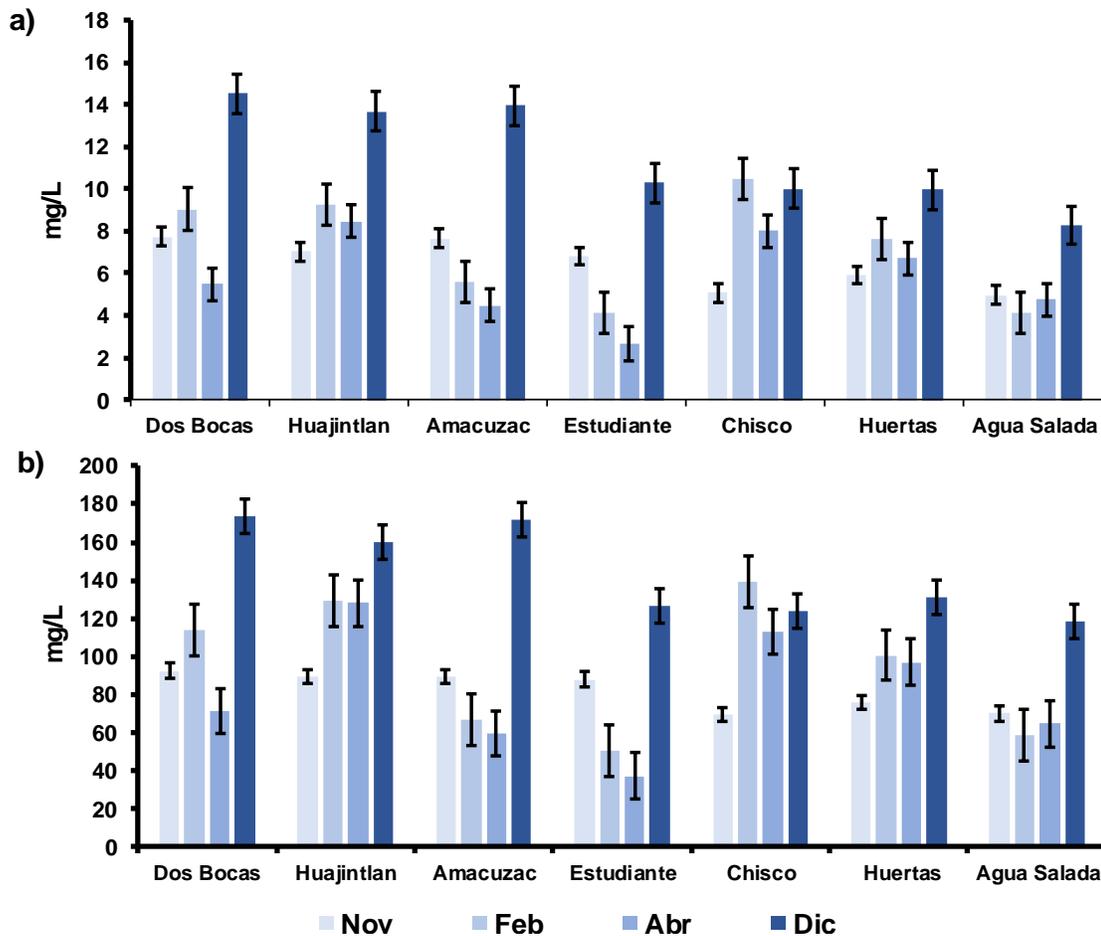
**Figura 21.** Comparación de los valores de nitrógeno amoniacal, de manera espacial y temporal

El análisis del fósforo (P), arrojó un promedio general de  $0.25 \pm 0.04$  mg/L. De manera espacial, El Estudiante presentó el valor más alto ( $0.41 \pm 0.21$  mg/L), seguida de Huajintlán ( $0.34 \pm 0.12$  mg/L) y el mínimo lo obtuvo Chisco ( $0.08 \pm 0.04$  mg/L). De manera estacional, febrero exhibió el valor máximo ( $0.37 \pm 0.03$  mg/L) y el mínimo diciembre ( $0.13 \pm 0.06$  mg/L). El análisis por sitio y por mes, señalo que febrero exhibió los valores más altos en El Estudiante (0.81 mg/L), Huajintlán (0.57 mg/L), Amacuzac (0.45 mg/L) y uno en abril en Dos Bocas (0.40 mg/L), Agua Salada registró un valor de 0.46 mg/L en diciembre, los valores mínimos se observaron en Chisco, Dos Bocas y Amacuzac en diciembre, y otros dos en febrero y abril, en Agua Salada. El resto de los puntos de muestreo, registraron valores por arriba de 0.10 mg/L en los tres meses de estudio (Fig. 22). De acuerdo con el análisis estadístico no se registró ninguna diferencia significativa entre localidades y meses.



**Figura 22.** Comparación de los valores de fósforo, de manera espacial y temporal

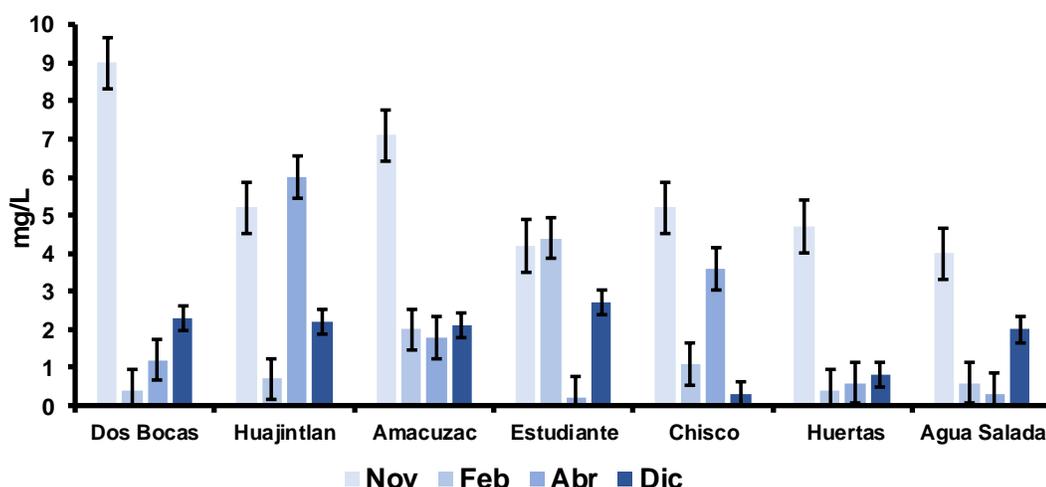
Los resultados del oxígeno ( $O_2$ ) (Fig.23a) y la saturación de oxígeno ( $\%O_2$ ) (Fig. 23b), registran un promedio general de  $7.74 \pm 0.58$  mg/L y  $100.3 \pm 6.92$  mg/L respectivamente. El análisis por sitio mostró que Huajintlán presentó los valores más altos de  $O_2$  ( $126.58 \pm 14.57$  mg/L%) y  $\%O_2$  ( $9.62 \pm 1.43$  mg/L), Dos Bocas también registró un valor ligeramente alto en ambos parámetros ( $9.20 \pm 1.92$  mg/L  $O_2$  y  $112 \pm 22$  mg/L  $\%O_2$ ), el valor mínimo de  $O_2$  se exhibió en Agua Salada ( $5.53 \pm 0.94$  mg/L) y  $\% O_2$  en El Estudiante ( $75.60 \pm 20.14$  mg/L). El análisis mensual arrojó un valor alto para ambas variables en diciembre ( $11.53 \pm 0.93$  mg/L  $O_2$  y  $143.80 \pm 9.01$  mg/L  $\%O_2$ ) y los valores mínimos en abril ( $3.80 \pm 0.78$  mg/L  $O_2$  y  $81.50 \pm 12.14$  mg/L  $\%O_2$ ). El análisis por sitio de estudio y meses, mostró que la mayoría de las localidades registraron sus máximos valores en diciembre, siendo Dos Bocas la que exhibió los máximos ( $14.51$  mg/L  $O_2$  y  $173.4$  mg/L  $\%O_2$ ), seguida de Amacuzac y Huajintlán ( $13.97$  y  $13.68$  mg/L  $O_2$  y de  $172$  y  $160.3$  mg/L  $\%O_2$  en el mismo orden), los valores mínimos se observaron en El Estudiante ( $2.66$  mg/L  $O_2$  y  $37.3$  mg/L  $\%O_2$ ). El resto de las localidades tuvieron valores por debajo de  $10$  mg/L de  $O_2$  en tres de cuatro meses de estudio, y valores por debajo de  $100$  mg/L en  $\%O_2$ , con excepción de febrero y diciembre donde se observan valores por arriba de los  $100$  mg/L pero por debajo de los  $140$  mg/L. La prueba de Kruskal-Wallis mostró una diferencia significativa entre meses y localidades ( $P < 0.05$ ).



**Figura 23.** Comparación de los valores de ppmO<sub>2</sub> (a) y %O (b), de manera espacial y temporal

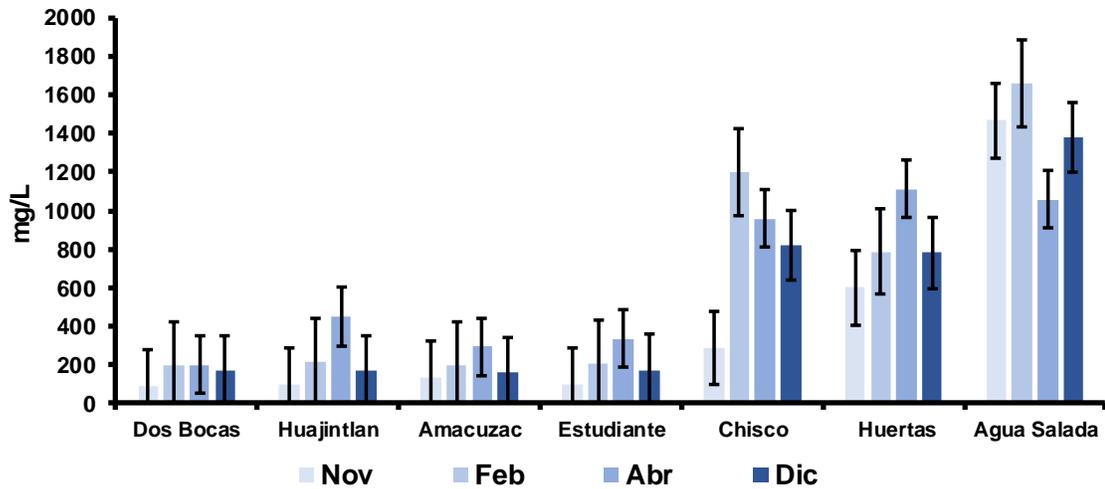
La DBO<sub>5</sub> registró un promedio general de 2.68±0.44 mg/l. El valor máximo por localidad se presentó en Huajintlán (3.52±1.25 mg/L), seguida de Amacuzac (3.25±1.28 mg/L) y Dos Bocas (3.22±1.96 mg/L), el valor bajo se exhibió en Las Huertas (1.62±1.03 mg/L). En cuanto al análisis por meses, noviembre presentó el valor más alto (5.62±0.68 mg/L) y el mínimo febrero (1.37±0.59 mg/L). De manera espacial y mensual Dos Bocas, presentó el máximo valor (9.0 mg/L), seguida de Amacuzac (7.1 mg/L) ambas en noviembre, los valores mínimos se observaron en El estudiante (0.2 mg/L), Chisco y Agua Salada (0.3 mg/L, diciembre y abril respectivamente), Dos Bocas y Las Huertas en febrero registraron un valor de 0.4 mg/L cada una. El resto de los puntos de muestreo, obtuvieron valores por debajo de 6 mg/L pero por arriba de 1 mg/L a excepción de Huajintlán (0.7 mg/L, febrero) y Las Huertas (0.8 mg/L, diciembre), quienes presentaron menores a 1 mg/L (Fig. 24). De acuerdo con los resultados

obtenidos con la prueba de Kruskal-Wallis, se registraron diferencias significativas por meses y por localidades ( $P < 0.05$ ).



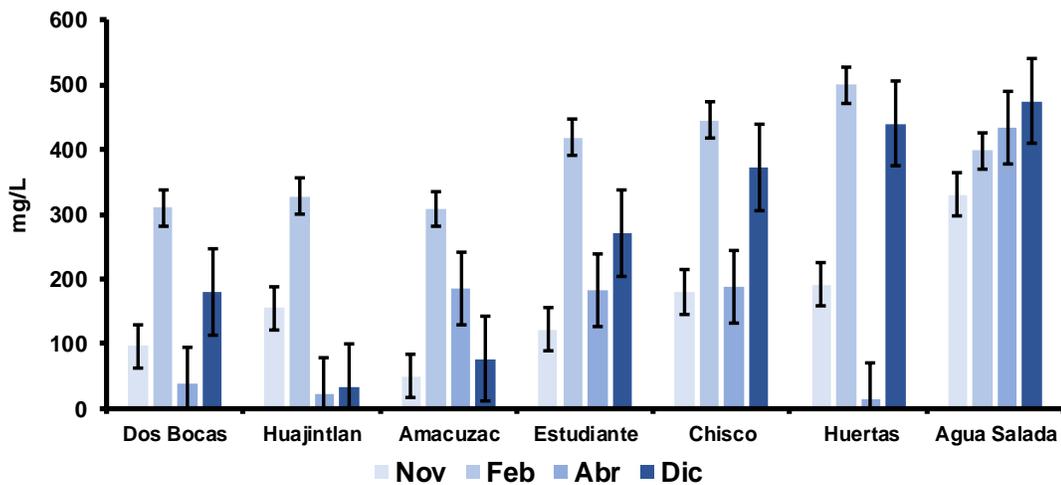
**Figura 24.** Comparación de los valores de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), de manera espacial y temporal.

La dureza total, registró un promedio general de  $545.69 \pm 91.13$  mg/L de  $CaCO_3$ . Las localidades río abajo fueron las que presentaron los valores más altos, observándose el máximo en Agua Salada ( $1389.89 \pm 125.38$  mg/L de  $CaCO_3$ ) y el mínimo en Dos Bocas ( $163.16 \pm 25.33$  mg/L de  $CaCO_3$ ). El estudio de manera mensual mostró un valor alto en febrero ( $637.20 \pm 225.10$  mg/L de  $CaCO_3$ ) y uno bajo en noviembre ( $394.68 \pm 192.01$  mg/L de  $CaCO_3$ ). De manera espacio-temporal el análisis mostró que Agua Salada, registró en todos los meses de estudio los valores altos, por arriba de 1000 mg/L de  $CaCO_3$ , con su máximo en febrero ( $1657.65$  mg/L de  $CaCO_3$ ), seguida de Chisco ( $1197.19$  mg/L de  $CaCO_3$ , en febrero) y Las Huertas ( $1113.11$  mg/L de  $CaCO_3$ , en abril), mientras que los valores mínimos se observaron en Dos Bocas ( $90.09$  mg/L de  $CaCO_3$ ), Huajintlán y El Estudiante ( $94.09$  mg/L de  $CaCO_3$ , cada una), el resto de los sitios de estudio, tuvieron valores por debajo de los 1000 mg/L de  $CaCO_3$  (Fig. 25). El análisis estadístico de Kruskal-Wallis, mostró una diferencia significativa entre localidades con un valor de significancia de  $P < 0.05$ .



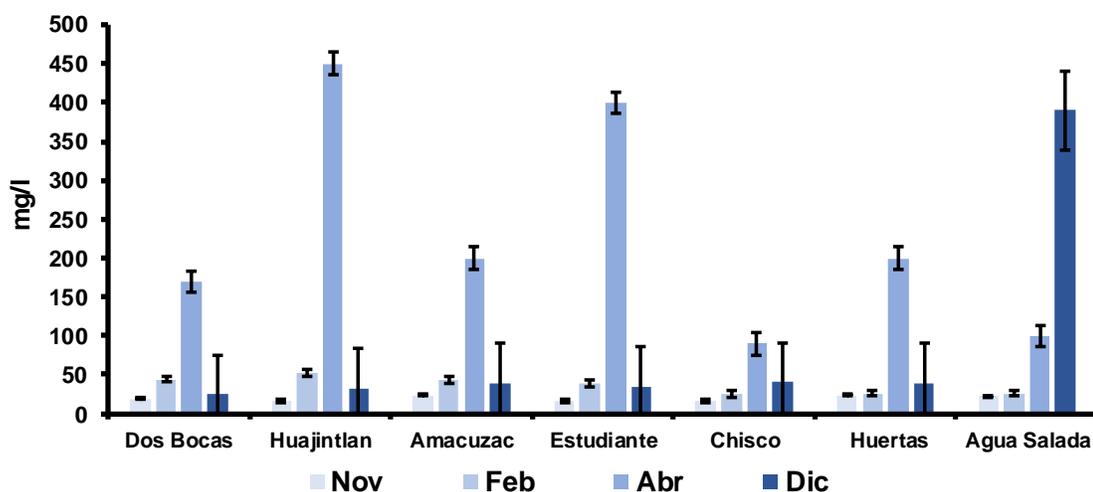
**Figura 25.** Comparación de los valores de la dureza, de manera espacial y temporal

La alcalinidad registró un valor promedio de  $240.72 \pm 29.34$  mg/L. El análisis por localidad mostró un valor alto en Agua Salada ( $409.5 \pm 30.81$  mg/L) y un mínimo en Huajintlán ( $134 \pm 71.44$  mg/L). En cuanto al análisis mensual, se observó un valor alto en febrero ( $386.85 \pm 28$  mg/L) y uno bajo en abril ( $151.85 \pm 56.25$  mg/L). De manera espacial y temporal los valores máximos los exhibieron Las Huertas (500 mg/L, febrero) y Agua Salada (475 mg/L, diciembre) y los mínimos en Las Huertas (13 mg/L), Huajintlán (21 mg/L) y Dos Bocas (38 mg/L) en abril y dos más en Huajintlán (32 mg/L diciembre) y Amacuzac (49 mg/L noviembre, Fig. 26). El resto de las localidades se mostraron valores por arriba de los 100 mg/L en los meses de estudio. El análisis de Kruskal-Wallis exhibió una diferencia significativa entre meses de estudio ( $P < 0.05$ ).



**Figura 26.** Comparación de los valores de la alcalinidad, de manera espacial y temporal.

Los cloruros mostraron un promedio general de  $92.90 \pm 23.57$  mg/L. El análisis por localidad exhibió tres valores altos, en Huajintlán ( $137.71 \pm 104.33$  mg/L), Agua Salada ( $134.46 \pm 87.01$  mg/L) y El Estudiante ( $122.21 \pm 92.68$  mg/L), el valor mínimo se presentó en Chisco ( $42.74 \pm 16.50$  mg/L). El análisis mensual, registró que abril fue el que exhibió el valor más alto ( $229.92 \pm 53.25$  mg/L) y noviembre el más bajo ( $19.56 \pm 1.41$  mg/L). El análisis espacio-temporal, registró que El Estudiante ( $49.86$  mg/L y  $399.87$  mg/L en abril) y Agua Salada ( $389.87$  mg/L en diciembre) tuvieron los valores más altos y los valores más bajos se registraron en noviembre en Huajintlán, El Estudiante y Chisco ( $15.99$  mg/L cada localidad). El resto de los valores por sitio y mes, registraron valores por arriba de los  $20$  mg/L, a excepción de Dos Bocas que exhibió un valor de  $18.99$  mg/L en noviembre (Fig. 27). El análisis estadístico de Kruskal-Wallis registró diferencias entre meses ( $P < 0.05$ ).

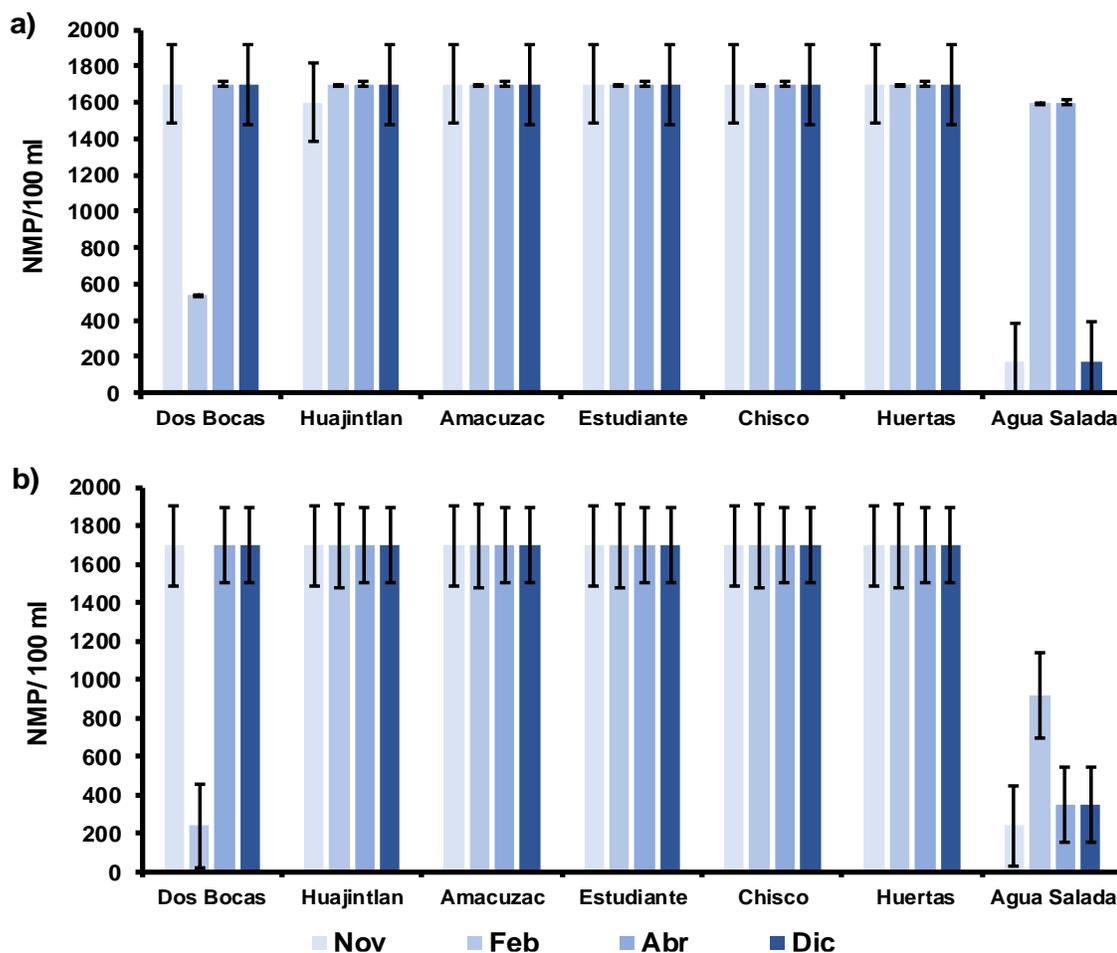


**Figura 27.** Comparación de los valores del cloruro, de manera espacial y temporal.

### 6.4.3. Parámetros biológicos del agua

Los valores de C.Totales y C.Fecales, exhiben un promedio de  $1538.57 \pm 83.9$  y  $1471.43 \pm 96.59$  NMP/100ml respectivamente. El análisis por localidad mostró en la mayoría de los sitios un valor de  $1700 \pm 0$  NMP/100ml de C.Totales y C.Fecales, con excepción de Agua Salada la cual tuvo valores bajos ( $885 \pm 412.5$  NMP/100ml C.Totales y  $465 \pm 153.87$  NMP/100ml C.Fecales). De manera mensual se pudo observar que

C.Totales, en abril se registró el valor más alto ( $1685.71 \pm 14.28$  NMP/100ml) y el más bajo en noviembre ( $1467.14 \pm 216.64$  NMP/100ml), los valores de C.Fecales, en abril y diciembre exhibieron un valor más alto ( $1507.14 \pm 192.83$  NMP/100ml), el valor bajo se registró en febrero ( $1380 \pm 219.47$  NMP/100ml). De manera espacial y temporal la mayoría de los sitios, exhibieron un valor de C.Totales y C.Fecales por arriba de los 1700 NMP/100ml en todos los meses de estudio, con excepción de Dos Bocas que registró un valor de 540 NMP/100ml de CTotales (Fig.28a) y 240 NMP/100ml CFecales, ambas en febrero, Agua Salada en todos los meses de estudio, registró valores de CFecales por debajo de los 500 NMP/100ml, excepto en febrero (920 NMP/100ml) (Fig. 28b). El análisis estadístico mostró una diferencia significativa por punto de muestreo ( $P < 0.05$ ).



**Figura 28.** Comparación de los valores de coliformes totales (a) y fecales (b), de manera espacial y temporal

#### 6.4.4. Correlación entre parámetros fisicoquímicos del agua

Dado que una correlación expresa el grado de asociación entre dos variables, se procedió a realizar un análisis de correlación de Spearman, obteniendo las siguientes correlaciones: positiva considerable con un valor de  $R = 0.51 \pm 0.75$  entre la temperatura del agua con conductividad, TDS y dureza, alcalinidad con conductividad, TDS y dureza,  $\text{NO}_3$  y  $\text{DBO}_5$ , P y cloruros, positiva perfecta entre la dureza con conductividad y el TSD, así como una correlación entre los dos últimos mencionados, y coliformes totales con fecales, también se obtuvieron correlaciones negativas considerables entre  $\text{NO}_3$  y  $\% \text{O}_2$  y  $\text{O}_2$  (Tabla. 8).

**Tabla 8.** Correlación entre variables fisicoquímicas evaluadas.

	T° Agua	pH	Conductividad	TSD	Color	Nitrato	Nitrito	Nit.Amo	Fosforo	ppmO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	DBO <sub>5</sub>	Dureza	Alcalinidad	Cloruros	Col.Tot	Col.Fec
T° Agua	1.00																
pH	0.08	1.00															
Conductividad	0.65	-0.36	1.00														
TSD	0.64	-0.35	0.99	1.00													
Color	-0.27	0.00	-0.32	-0.28	1.00												
Nitrato	0.17	0.39	-0.20	-0.21	0.04	1.00											
Nitrito	0.32	0.50	-0.20	-0.17	-0.17	0.49	1.00										
Nit.Amo	0.40	-0.48	0.37	0.37	-0.36	0.24	0.14	1.00									
Fosforo	0.23	0.35	0.17	0.20	-0.01	-0.26	0.14	-0.23	1.00								
ppmO <sub>2</sub>	-0.31	-0.12	-0.31	-0.35	0.14	-0.54	-0.35	-0.42	-0.08	1.00							
%O <sub>2</sub>	-0.15	-0.09	-0.22	-0.25	0.16	-0.54	-0.31	-0.39	-0.03	0.98	1.00						
DBO <sub>5</sub>	-0.26	0.05	-0.50	-0.50	0.28	0.57	0.14	0.13	-0.42	0.05	0.01	1.00					
Dureza	0.72	-0.32	0.96	0.96	-0.29	-0.23	-0.17	0.33	0.17	-0.26	-0.15	-0.49	1.00				
Alcalinidad	0.21	-0.45	0.64	0.62	-0.41	-0.32	-0.41	0.31	0.24	-0.07	-0.08	-0.45	0.56	1.00			
Cloruros	0.39	0.24	0.32	0.36	0.08	-0.30	0.25	-0.18	0.72	-0.07	0.00	-0.52	0.36	0.02	1.00		
Col.Totales	-0.27	0.27	-0.38	-0.36	0.35	-0.06	0.29	-0.48	0.04	0.22	0.21	0.14	-0.33	-0.37	0.01	1.00	
Col.Fecales	-0.33	0.29	-0.51	-0.48	0.38	0.03	0.36	-0.40	-0.05	0.23	0.21	0.27	-0.45	-0.43	-0.11	0.91	1.00

\*Los valores de color rojo indican una relación entre variables sea esta positiva o negativa, pudiendo ser esta una correlación positiva débil (+0.01 a +0.10), correlación positiva media (+0.11 a +0.50), correlación positiva considerable (+0.51 a +0.75), correlación positiva muy fuerte (+0.76 a +0.90), correlación positiva perfecta (+0.91 a + 1.00), correlación negativa débil (-0.01 a -0.10), correlación negativa media (-0.11 a -0.50), correlación negativa considerable (-0.51 a -0.75), correlación negativa muy fuerte (-0.76 a -0.90), correlación negativa perfecta (-0.91 a -1.00) (Hernández *et al.*, 2010).

#### 6.5. Calidad del agua (ICA)

El índice de calidad del agua (ICA) aplicado durante todo el periodo de estudio arrojó valores por debajo de 80, lo que significa que todos los sitios de estudio se mantuvieron

en el rango de una calidad de agua regular (51-80) (Tabla 2). De manera general la localidad con el valor más alto del ICA fue Dos Bocas, con un valor de 73.77, mientras que el valor más bajo lo obtuvo la localidad Las Huertas (65.64) (Tabla 9). Los valores del ICA mostraron una variación espacial, el valor más bajo lo presentó la localidad Las Huertas (58.40) la cual se ubica río abajo durante noviembre, el puntaje más alto se vio registrado en diciembre en Dos Bocas (80.44) (Tabla 8).

**Tabla 9.** Valores del ICA en los distintos meses de muestreo

Sitios	Noviembre	Febrero	Abril	Diciembre	Promedio	ICA
Dos Bocas	72.76	78.08	63.81	80.44	73.77	Regular
Huajintlán	67.74	71.93	59.67	72.50	67.96	Regular
Amacuzac	68.61	64.54	62.56	76.30	68.00	Regular
El Estudiante	78.53	62.43	63.78	69.72	68.62	Regular
Chisco	63.12	74.63	62.60	74.18	68.63	Regular
Las Huertas	58.40	70.21	63.44	70.53	65.64	Regular
Agua Salada	63.05	72.71	68.56	70.27	68.65	Regular

De acuerdo con los rangos asociados al valor numérico del ICA, se puede clasificar a las localidades de estudio dependiendo al uso al que está siendo destinada el agua. A lo largo del río Amacuzac, se puede observar tres tipos de usos, los cuales son agrícola, pesca y vida acuática y uso recreativo, que de acuerdo con esta clasificación se indican criterios o límites aconsejables para hacer un uso consciente del agua (Tabla 10). De acuerdo con el uso agrícola la localidad Dos Bocas tendría el siguiente criterio, se pueden establecer cultivos que requieren de agua de alta calidad, en tanto que para uso de pesca y vida acuática tiene un límite para peces muy sensible, y para uso recreativo se puede realizar cualquier tipo de deporte acuático, para el resto de las localidades, el agua en el criterio de uso agrícola sería utilizable en la mayoría de cultivos, en la pesca y vida acuática sería dudosa la pesca sin riesgo de salud y para uso recreativo se deben restringir los deportes de inmersión y se debe tener precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias (Tabla 10). La prueba de Kruskal-Wallis no reporta diferencias significativas entre los sitios de estudio por mes y por temporada ( $p < 0.05$ )

**Tabla 10.** Criterios o límites aconsejables en función de los valores del ICA

Rango	Uso en agricultura	Uso pesca y Vida acuática	Uso recreativo (UR)	Rango UR
91 - 100	No requiere purificación para riego	Pesca y vida acuática abundante	Cualquier tipo de deporte acuático	71 - 100
71 - 90	Purificación menor para cultivos que requieren de agua de alta calidad	Límites para peces muy sensible	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias	51 - 70
51 - 70	Utilizable en mayoría de cultivos	Dudosa la pesca sin riesgo de salud	Dudosa para contacto con el agua	41 - 50
31 - 50	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Vida acuática limitada a especies muy resistentes	Evitar contacto, solo con lanchas	31 - 40
21 - 30	Uso sólo en cultivos muy resistentes	Inaceptable para actividad pesquera	Contaminación visible, evitar cercanía	21 - 30
0 - 20	Inaceptable para riego	Inaceptable para vida acuática	Inaceptable para recreación	0 - 20

## 6.6. Comunidad íctica

Durante los meses de muestreo se capturó un total de 10,531 individuos que respondieron a cinco órdenes, siete familias y 20 especies. Los órdenes Cyprinodontiforme y Siluriforme estuvieron representados por dos familias, mientras que el resto de los órdenes por una, sin embargo, el orden Perciforme a pesar de solo estar representado por una familia (Cichlidae), fue esta la que tuvo mayor riqueza de especies (siete), seguida de la familia Poeciliidae, la cual estuvo representada por cinco especies, mientras que el resto de las familias están incorporadas por dos o una especie. De las 20 especies colectadas, dos son endémicas (*Ilyodon whitei* e *Ictalurus balsanus*), lo que corresponde al 10%; cuatro nativas (*Astyanas mexicanus*, *Poecilia maylandi*, *Notropis moralesi* y *Amphilophus istlanum*) que representan el 20% y 14 especies son introducidas representando el máximo porcentaje (70% Tabla 11).

**Tabla 11.** Registro actual de la ictiofauna del río Amacuzac \* Especies endémicas; \*\* Especies nativas.

Orden	Familia	Especie	Distribución Natural	Estatus
Characiformes	Characidae	** <i>Astyanax mexicanus</i> (DeFilippi, 1853)		Estable (CITES, UNEP-WCMC, 2017.)
Cyprinodontiformes	Goodeidae	* <i>Ilyodon whitei</i> (Meek, 1904)	Cuenca del río Balsas	Estable (Koeck, 2019)
	Poeciliidae	<i>Pseudoxiphophorus bimaculatus</i> (Heckel 1848)	Belice; Guatemala; Honduras; México (Yucatán, Veracruz, Tabasco, Quintana Roo, Campeche, Oaxaca, Chiapas); Nicaragua	Estable (Lyon, 2019)
		** <i>Poecilia maylandi</i> Meyer, 1983	México (Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos)	Datos insuficientes (Palmer-Newton, 2019)
		<i>Poecilia reticulata</i> Peters, 1859	América del Sur	Rara (Contreras-MacBeath <i>et al.</i> , 1998).
		<i>Poeciliopsis gracilis</i> (Heckel, 1848)	El Salvador; Guatemala; Honduras; México (Puebla, Oaxaca, Estado de México, Veracruz); Nicaragua	Estable (Daniels y Maiz-Tome, 2019)
	<i>Xiphophorus helleri</i> Heckel, 1848	Guatemala; Honduras; México (Oaxaca, Campeche, Tabasco, Veracruz, Quintana Roo)	Estable (Daniels y Maiz-Tome, 2019)	
Cypriniformes	Cyprinidae	** <i>Notropis moralesi</i> de Buen, 1955	México	Protección (NOM-ECOL-059-2010) Datos insuficientes (Soto-Galera, 2019)
		<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758	Austria; Bulgaria; Croacia; Hungría; Montenegro; Rumania; Serbia; Slovakia; Slovenia	Peligro crítico (Kottelat, 1996)

**Continuación Tabla 11.**

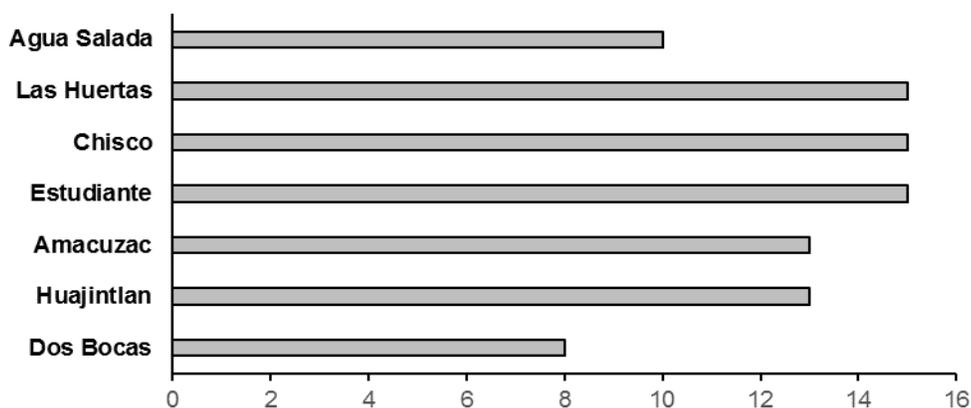
	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Distribución Natural</b>	<b>Estatus</b>
Perciformes	Cichlidae	<b>**<i>Amphilophus istlanum</i></b> (Jordan y Snyder 1899).	Armería-Coahuylana, Cuenca del Balsas	Vulnerable (Jelks <i>et al.</i> , 2008)
		<i>Andinoacara rivulatus</i> (Günther, 1860)	América del Sur: del Pacífico desde el río Esmeraldas en Ecuador hasta el río Tumbes en Perú	Común (Contreras-MacBeath <i>et al.</i> , 1998)
		<i>Oreochromis mossambicus</i> (Peters, 1852)	Swazilandia Malawi Mozambique Sudáfrica (KwaZulu-Natal, Provincia del Cabo Oriental); Zambia Zimbabwe	Casi amenazado (Cambray y Swartz, 2007)
		<i>Thorichthys helleri</i> (Steindachner, 1864)	Belice; Guatemala; México (Campeche, Yucatán, Tabasco)	Datos insuficientes (Vega-Cendejas, 2019)
		<i>Thorichthys maculipinnis</i> (Steindachner, 1864)	América Central: vertiente del Atlántico, en la cuenca del río Papaloapán, México.	No evaluado
		<i>Tilapia zillii</i> (Gervais, 1848)	África	Abundante (Contreras-MacBeath <i>et al.</i> , 2014)
		<i>Amatitlania nigrofasciata</i> (Günther, 1867)	América Central: vertiente del Pacífico, desde río Sucio, El Salvador hasta río Suchiate, Guatemala; Ladera atlántica, desde río Patuca, Honduras hasta río Jutiapa, Guatemala.	Abundante (Contreras-MacBeath <i>et al.</i> , 2014)

**Continuación Tabla 11.**

	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Distribución Natural</b>	<b>Estatus</b>
Siluriformes	Ictaluridae	* <i>Ictalurus balsanus</i> (Jordan y Snyder, 1899)	Cuenca del Balsas	Vulnerable (Jelks <i>et al.</i> , 2008)
		<i>Ictalurus punctatus</i> (Rafinesque, 1818)	América del Norte: San Lorenzo-Grandes Lagos, Bahía de Hudson (drenaje del Río Rojo) y cuencas de los ríos Missouri-Mississippi desde el sur de Quebec hasta el sur de Manitoba y Montana hacia el sur hasta el Golfo. Posiblemente nativo en las laderas del Atlántico y del Golfo desde el río Susquehanna hasta el río Neuse, y desde el río Savannah hasta el lago Okeechobee, Florida, y desde el oeste hasta el norte de México y el este de Nuevo México.	Estable (NatureServe, 2013)
	Loricaridae	<i>Pterygoplichthys disjunctivus</i> (Weber, 1991)	América del Sur: cuenca del río Madeira.	Abundante (Mendoza <i>et al.</i> , 2009; Stabridis <i>et al.</i> , 2009)
		<i>Pterygoplichthys pardalis</i> (Castelnau, 1855)	América del Sur: cuenca baja, media y alta del río Amazonas.	Abundante (Mendoza <i>et al.</i> , 2009; Stabridis <i>et al.</i> , 2009)

### 6.6.1. Comunidad íctica por localidad

En el análisis por sitio de estudio, exhibió que El Estudiante, Chisco y Las Huertas presentaron una mayor riqueza de especies (15 especies cada una, lo que corresponde al 75%), mientras que Dos Bocas registró un menor número de especie (ocho especies, 40%), el resto de las localidades registraron entre 13 y 10 especies (65% y 50% respectivamente) (Fig. 29).



**Figura 29.** Riqueza específica de la ictiofauna del río Amacuzac, por sitio de estudio

De acuerdo con el origen de las especies por localidad se observó que 11 especies introducidas fueron registradas en Las Huertas (78.6%), El Estudiante y Chisco con diez especies cada una (71.4%), mientras que Dos Bocas exhibió un número menor de estas especies (cuatro especies, 28.6%). Las cuatro especies nativas, se registraron en la mayoría de las localidades, a excepción de Dos Bocas y Agua Salada que registraron únicamente tres especies (75%), las especies endémicas, como *I. balsanus* únicamente se observó en Dos bocas e *I. whitei* en Huajintlán y Chisco (Tabla 12).

Seis especies estuvieron distribuidas a lo largo de todos los sitios de estudio, cuatro introducidas (*P. bimaculatus*, *P. gracilis*, *T. zilli* y *A. nigrofasciata*) y dos nativas (*A. mexicanus* y *P. maylandi*), cuatro de las especies de la familia Cichlidae también se registraron en todos los sitios, excepto en Dos Bocas, la especie nativa *N. moralesi* no

se presentó en Agua Salada. Las especies introducidas *P. reticulata* y *C. carpio*, se registraron en Amacuzac, *H. xelleri* solo fue capturada en Chisco e *I. punctatus* en Las Huertas. Las dos especies de plecostomas fueron registradas en El Estudiante, Chisco y Las Huertas. Las dos especies endémicas no sólo se registraron en una o dos localidades, sino que además sus abundancias fueron menores a 0.5%, en cuanto a las especies nativas, únicamente *P. maylandi* exhibió un porcentaje alto en Agua Salada (29.63%), el resto de las especies exhibieron valores menores al 10% en todas las localidades. *Pseudoxiphophorus bimaculatus*, mostró cuatro valores altos, con un máximo en Las Huertas (40.12%), *P. gracilis*, en todas las localidades exhibió valores altos con tres máximos (Dos Bocas 85.43; Chisco 68.15% y Amacuzac 60.15%), el resto de las especies introducidas tuvieron valores bajos (Tabla 12).

**Tabla 12.** Registro y abundancia porcentual actual de la ictiofauna del río Amacuzac por localidades

Especies	Dos Bocas	Huajintlán	Amacuzac	El Estudiante	Chisco	Las Huertas	Agua Salada
<i>A. mexicanus</i> **	1.31	1.34	7.27	2.20	0.12	4.19	0.28
<i>I. whitei</i> *		0.07			0.29		
<i>P. bimaculatus</i>	6.29	35.23	12.53	34.97	12.24	<b>40.12</b>	24.37
<i>P. maylandi</i> **	3.14	3.22	3.13	2.14	7.87	2.40	29.63
<i>P. reticulata</i>			0.06				
<i>P. gracilis</i>	<b>85.43</b>	32.89	<b>60.15</b>	44.75	<b>68.15</b>	23.35	34.20
<i>X. helleri</i>					0.08		
<i>N. moralesi</i> **	3.56	8.86	8.58	8.29	0.46	2.99	
<i>C. carpio</i>			0.06				
<i>A. istlanum</i> **		0.81	0.75	0.26	0.75	2.40	4.71
<i>A. rivulatus</i>		0.13	0.31	0.39	0.79	2.40	0.07
<i>O. mossambicus</i>		0.47		0.13		0.60	
<i>T. helleri</i>		0.34	0.50	0.06	0.17	0.60	0.49
<i>T. maculipinnis</i>		2.62	0.94	2.33	0.92	10.18	3.23
<i>T. zilli</i>	0.10	2.21	2.51	1.42	1.83	1.80	0.56
<i>A. nigrofasciata</i>	0.05	11.81	3.20	1.68	6.04	4.79	2.46
<i>I. balsanus</i> *	0.10			3.19			
<i>I. punctatus</i>						0.60	
<i>P. disjunctivus</i>				0.06	0.04	0.60	
<i>P. pardalis</i>				1.23	0.25	2.99	
Endémicas*	1	1	0	1	1	0	0
Nativas**	3	4	4	4	4	4	3
Introducidas	4	8	9	10	10	11	7

### 6.6.2. Comunidad íctica por meses de muestreo

De acuerdo con el análisis mensual se pudo observar que diciembre fue el que registró una mayor riqueza de especies (16) conformada por 11 especies introducidas, cuatro nativas y una endémica (*I. balsanus*), seguido de abril con 15 especies, de estas diez corresponden a especies introducidas, cuatro nativas y una endémica (*I. whitei*), mientras que febrero exhibió el menor número de especies (12 especies), siete son introducidas, cuatro nativas y una endémica (*I. whitei*) (Tabla 13).

Las especies endémicas solamente se registraron en dos meses de colecta vada una, *I. balsanus* en noviembre y diciembre e *I. whitei* en febrero y abril, con porcentajes menores al 1%, mientras que las especie nativas se presentaron en los cuatro meses de muestreo, observándose que *P. maylandi* (12.58%) y *N. moralesi* (20.82%) exhibieron sus máximos valores en noviembre y *P. maylandi* en diciembre (11.06%), en febrero (estiaje frío) y abril (estiaje cálido) se observa una baja abundancia de estas especies, las dos especies restantes exhibieron valores menores al 7%. Siete de las especies introducidas, se observaron en los cuatro meses de estudio, el resto solo en una o dos meses. En cuanto a sus abundancias, *P. gracilis* exhibió valores altos (57.90 febrero y 61.30 abril) al igual que *P. bimaculatus* (24.91% febrero y 20.59% abril), *A. nigrofasciata* mostró sus máximos porcentajes en los meses correspondientes a la época de estiaje frío (16.08 noviembre y 13.90 diciembre), el resto de estas especies exhibieron valores menores al 6% (Tabla 13).

**Tabla 13.** Registro actual de la ictiofauna del río Amacuzac por meses de colecta

<b>Especies</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Febrero</b>	<b>Abril</b>	<b>Diciembre</b>
<i>A. mexicanus</i> **	1.24	1.39	1.64	5.21
<i>I. whitei</i> *		0.03	0.12	
<i>P. bimaculatus</i>	6.39	24.91	20.59	10.03
<i>P. maylandi</i> **	12.58	5.98	7.35	11.06
<i>P. reticulata</i>			0.02	
<i>P. gracilis</i>	30.72	57.9	61.3	39.73
<i>X. helleri</i>				0.16
<i>N. moralesi</i> **	20.82	5.27	3.67	0.87
<i>C. carpio</i>			0.02	
<i>A. istlanum</i> **	1.03	0.07	0.45	6.64
<i>A. rivulatus</i>	0.21	0.03	0.17	1.97
<i>O. mossambicus</i>			0.14	0.16
<i>T. helleri</i>				2.05
<i>T. maculipinnis</i>	4.12	0.82	1.23	4.66
<i>T. zilli</i>	5.77	0.85	1.34	1.66
<i>A. nigrofasciata</i>	16.08	2.65	1.88	13.9
<i>I. balsanus</i> *	0.41			0.08
<i>I. puntatus</i>	0.21			
<i>P. disjunctivus</i>	0.21			0.16
<i>P. pardalis</i>	0.21	0.1	0.09	1.66
Endémica*	1	1	1	1
Nativa**	4	4	4	4
Introducida	9	7	10	11
Total	14	12	15	16

### 6.6.3. Comunidad íctica por localidad y meses de estudio

Con base en el análisis por localidades y meses, se observó que noviembre fue el que presentó el menor número de especies en todas las localidades, con un mínimo de cuatro especies en Dos Bocas, Amacuzac, El Estudiante y Las Huertas. Abril fue el mes

que registró la mayor riqueza de especies en Amacuzac y Chisco, mientras que en diciembre se observó una alta riqueza de especies en Chisco (13 especies) (Tabla 14).

Respecto al origen de las especies, se observó que las localidades más representados por especie nativas (4 en cada sitio) fue Huajintlán y Amacuzac en diciembre y Amacuzac, El Estudiante y Chisco en abril, así mismo, las especies endémicas solamente se reportaron en una localidad Dos Bocas en noviembre, Huajintlán en febrero y Chisco en abril. Mientras que las especies introducidas estuvieron presentes en todas las localidades y meses de estudio, con un mínimo en Dos Bocas en abril (una especie) y un máximo en diciembre en Chisco, en Las Huertas en abril sólo se observaron especies introducidas (cuatro) (Tabla 14).

Con base en las abundancias, se observó que, las especies endémicas exhibieron porcentajes menores al 5%, en tanto que las nativas *P. maylandi* en noviembre (39.44%) y febrero (35.8%) en Agua Salada mostraron valores altos, *N. moralesi* exhibió las abundancias más altas en Dos Bocas (84.09%), Amacuzac (53.85%) y El Estudiante (33.33%) en noviembre. De las especies introducidas, *P. gracilis* en la mayoría de las combinaciones (localidad-meses) mostró porcentajes altos con dos máximos, uno en abril (Dos Bocas 87.34%) y otro en febrero (Chisco 83.68%), seguida de *P. bimaculatus* con valores altos en febrero en El Estudiante (45.04%), Las Huertas (59.74%) y Agua Salada (36.36%) y en noviembre en Agua Salada (39.44), *A. nigrofasciata* tuvo dos máximos en noviembre (Chisco 68.75% y Las Huertas 40%), *T. maculipinnis* reportó un valor alto en Las Huertas en diciembre (38.1%) (Tabla 14).

De acuerdo con el análisis estadístico (Kruskal-Wallis) no se encontraron diferencias significativas entre localidades por abundancia de las especies ( $H=6.83$ ,  $p=0.33$ ), lo que indica que la abundancia de especies, es similar entre localidades, esto mismo se observa en la comparación entre los meses de estudio (noviembre, febrero, abril) obteniendo un valor de  $H= 17$  ( $p= 0.45$ ) estos datos se corroboraron con la H de tablas. Con respecto a la diversidad o riqueza de especies, no se encontró diferencia

significativa por localidad ( $H=6$ ,  $p=.42$ ), lo que indica que el número de especies registradas puede ser igual entre localidades.

**Tabla 14.** Registro de la ictiofauna por localidades y meses

	Dos Bocas		Huajintlán				Amacuzac				El Estudiante			
	Nov	Abr	Nov	Feb	Abr	Dic	Nov	Feb	Abr	Dic	Nov	Feb	Abr	Dic
<i>A. mexicanus</i> **	6.8	1.2	0.8	0.3		7.6	7.7	0.9	6.1	18.5		5.4	0.2	
<i>I. whitei</i> *				0.3										
<i>P. bimaculatus</i>		6.4	3.9	72.7	35.7	15.6		18.7	13.9	0.8	16.7	45.0	30.5	
<i>P. maylandi</i> **		3.2	1.2	3.7	3.8	3.1		0.9	1.3	13.9	16.7	2.2	1.9	3.6
<i>P. reticulata</i>									0.1					
<i>P. gracilis</i>	4.5	87.3	31.7	10.7	41.9	39.1	15.4	66.2	63.1	42.9	33.3	29.7	57.7	
<i>X. helleri</i>														
<i>N. moralesi</i> **	84.1	1.7	21.2	5.8	8.5		53.8	12.8	8.3	3.4	33.3	17.0	2.8	
<i>C. carpio</i>									0.1					
<i>A. istlanum</i> **			1.2		0.9	1.3			0.9	0.8			0.1	5.5
<i>A. rivulatus</i>				0.3		0.4			0.1	1.7			0.1	9.1
<i>O. mossambicus</i>					0.7	0.9							0.2	
<i>T. helleri</i>						2.2				3.4				1.8
<i>T. ellioti</i>			6.9		2.5	1.8			1.2	0.8		0.2	3.5	7.3
<i>T. zillii</i>		0.1	10.8		0.1	1.8			2.9	2.9			2.0	7.3
<i>A. nigrofasciata</i>		0.1	22.4	6.1	5.7	26.2	23.1	0.5	1.9	10.9			0.9	32.7
<i>I. balsanus</i> *	4.5													1.8
<i>I. puntatus</i>														
<i>P. disjunctivus</i>														1.8
<i>P. pardalis</i>												0.5		29.1
Endémica*	1			1										1
Nativa**	2	3	4	3	3	3	2	3	4	4	2	3	4	2
Introducida	1	4	5	5	6	8	2	3	8	7	2	4	7	7
Total	4	7	9	9	9	11	4	6	12	11	4	7	11	10

Continuación Tabla 14.

	Chisco				Las Huertas				Agua Salada			
	Nov	Feb	Abr	Dic	Nov	Feb	Abr	Dic	Nov	Feb	Abr	Dic
<i>A. mexicanus</i> **			0.4	0.3		7.8	2.3					1.0
<i>I. whitei</i> *			1.3									
<i>P. bimaculatus</i>	6.3	5.0	25.7	26.1		59.7	37.2	11.9	13.4	36.4	36.7	1.3
<i>P. maylandi</i> **	6.3	5.4	16.8	5.2		3.9	2.3		39.4	35.8	31.3	20.5
<i>P. reticulata</i>												
<i>P. gracilis</i>		83.7	40.0	41.8	20.0	22.1	39.5	9.5	42.3	18.8	30.2	45.3
<i>X. helleri</i>				0.7								
<i>N. moralesi</i> **		0.3	0.8	1.0		3.9	4.7					
<i>C. carpio</i>												
<i>A. istlanum</i> **	12.5		1.7	2.3				9.5		1.1		16.3
<i>A. rivulatus</i>			1.3	3.9			2.3	7.1	0.7			
<i>O. mossambicus</i>							2.3					
<i>T. helleri</i>				1.3				2.4				1.8
<i>T. ellioti</i>		0.8	1.1	1.3			2.3	38.1	1.4	6.3	0.6	7.3
<i>T. zillii</i>		1.5	3.0	1.3		1.3	4.7				0.8	0.5
<i>A. nigrofasciata</i>	68.8	3.4	7.2	14.1	40.0	1.3		11.9	2.8	1.7	0.4	6.3
<i>I. balsanus</i> *												
<i>I. puntatus</i>					20.0							
<i>P. disjunctivus</i>	6.3							2.4				
<i>P. pardalis</i>			0.8	0.7	20.0		2.3	7.1				
Endémica*			1									
Nativa**	2	2	4	4		3	3	1	1	2	1	3
Introducida	3	5	7	9	4	4	7	8	6	4	5	6
Total	5	7	12	13	4	7	10	9	7	6	6	9

## 6.7. Índice de Valor de Importancia

El índice de valor de importancia (IVI) mostró que las especie con mayor importancia de acuerdo con sus abundancias y frecuencia fueron *P. gracilis* (50.8) y *P. bimaculatus* (24.7) ambas pertenecen a la Familia Poeciliidae y son especies introducidas, mientras que las especies endémicas, nativas y el resto de las introducidas mostraron valores de importancia bajos (Tabla 15).

**Tabla15.** Índice de Valor de Importancia de la ictiofauna del río Amacuzac

<b>Especies</b>	<b>IVI</b>	<b>Especies</b>	<b>IVI</b>
<i>A. mexicanus</i> **	3.4	<i>A. rivulatus</i>	1.7
<i>I. whitei</i> *	1.2	<i>O. mossambicus</i>	1.4
<i>P. bimaculatus</i>	24.7	<i>T. helleri</i>	1.4
<i>P. maylandi</i> **	8.4	<i>T. maculipinnis</i>	4.4
<i>P. reticulata</i>	1.1	<i>T. zilli</i>	2.5
<i>P. gracilis</i>	50.8	<i>A. nigrofasciata</i>	5.3
<i>X. helleri</i>	1.1	<i>I. balsanus</i> *	2.6
<i>N. moralesi</i> **	6.5	<i>I. puntatus</i>	1.6
<i>C. carpio</i>	1.1	<i>P. disjunctivus</i>	1.2
<i>A. istlanum</i> **	2.6	<i>P. pardalis</i>	2.5

## 6.8. Índices Ecológico

De acuerdo con los índices ecológicos y el análisis por sitio de estudio se observó que Huajintlán, El Estudiante, Las huertas y Agua Salada, presentaron valores relativamente altos del índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), con un máximo en Las Huertas (2.73), Dos Bocas exhibió el valor mínimo (0.88). El índice de riqueza de especies de Margalef ( $D_{mg}$ ), registró valores bajos en todas las localidades, a excepción de Las Huertas, que mostró un valor relativamente alto de  $D_{mg}$  (2.70), lo cual indica que existe mayor riqueza específica. El índice de equitatividad ( $J'$ ) mostro que Dos Bocas y Chisco registran un valor bajo, lo que indica que hay una o más especies que son dominantes en esos sitios. La dominancia ( $D_{si}$ ) fue baja en todas las localidades, con excepción de Dos Bocas que exhibió un valor cercano a uno (Tabla 16).

**Tabla 16.** Índices ecológicos por localidad: H') Diversidad de Shannon-Wiener, D<sub>mg</sub>) índice de Margalef, J') índice de Pielou, D<sub>si</sub>) Índice de dominancia de Simpson

	H'	D <sub>mg</sub>	J	D <sub>si</sub>
<b>Dos Bocas</b>	0.88	0.93	0.29	0.74
<b>Huajintlán</b>	2.37	1.64	0.64	0.26
<b>Amacuzac</b>	2.04	1.63	0.55	0.39
<b>El Estudiante</b>	2.06	1.91	0.53	0.33
<b>Chisco</b>	1.68	1.80	0.43	0.49
<b>Las Huertas</b>	2.73	2.74	0.70	0.23
<b>Agua Salada</b>	2.16	1.24	0.65	0.27

Al realizar el análisis mensual se registró que la diversidad (H') de especies exhibió valores bajos en febrero y abril (1.79 cada uno) y relativamente altos en noviembre y diciembre, en tanto que en todos los meses se registraron valores bajos de riqueza (D<sub>mg</sub>). El índice de Pielou (J') muestra que en los meses correspondientes a la temporada de estiaje frío (noviembre y diciembre) hubo alta equitatividad, mientras que febrero y abril tuvieron menor equitatividad. Los valores de dominancia se mostraron bajos en los cuatro periodos de estudio (Tabla 17).

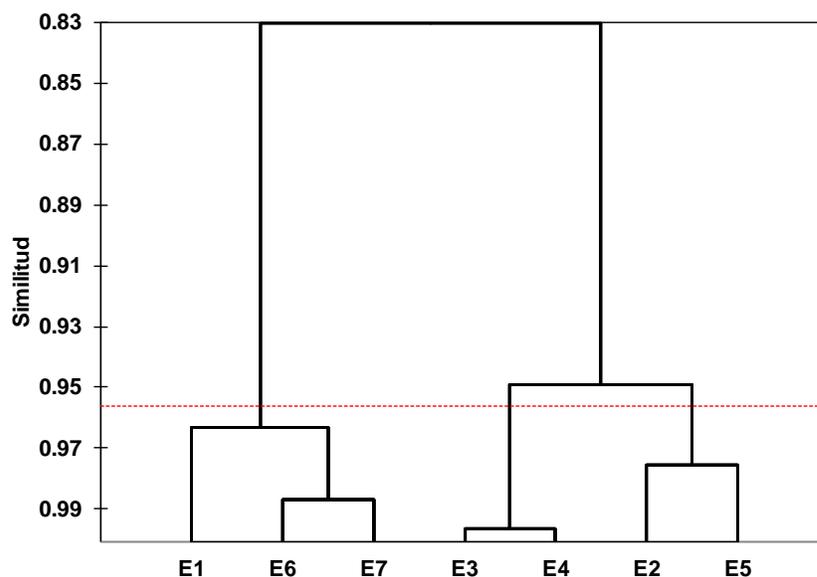
**Tabla 17.** Índices ecológicos por periodo mensual: H') Diversidad de Shannon-Wiener, D<sub>mg</sub>) índice de Margalef, J') índice de Pielou, D<sub>si</sub>) Índice de dominancia de Simpson

Índices	nov-18	feb-19	abr-19	dic-19
<b>H'</b>	2.73	1.79	1.79	2.66
<b>D<sub>mg</sub></b>	2.1	1.38	1.61	2.1
<b>J'</b>	0.72	0.50	0.46	0.68
<b>D<sub>si</sub></b>	0.19	0.40	0.43	0.21

## 6.9. Análisis jerárquico de agrupación

El análisis jerárquico por agrupación por correlación de Pearson AJCP-I, elaborado con los datos de uso de suelo, abundancias promedio de las especies y valores de biodiversidad (H') (Fig. 30) muestra tres grupos a un nivel de corte de 0.954, el grupo I, comprende dos subgrupos, el subgrupo "a" correspondiente al sitio Dos Bocas (E1) con el 96% de similitud, el cual posee un bajo porcentaje de suelo urbano y agrícola, un dominio considerable de vegetación natural y baja riqueza de especies; el subgrupo "b"

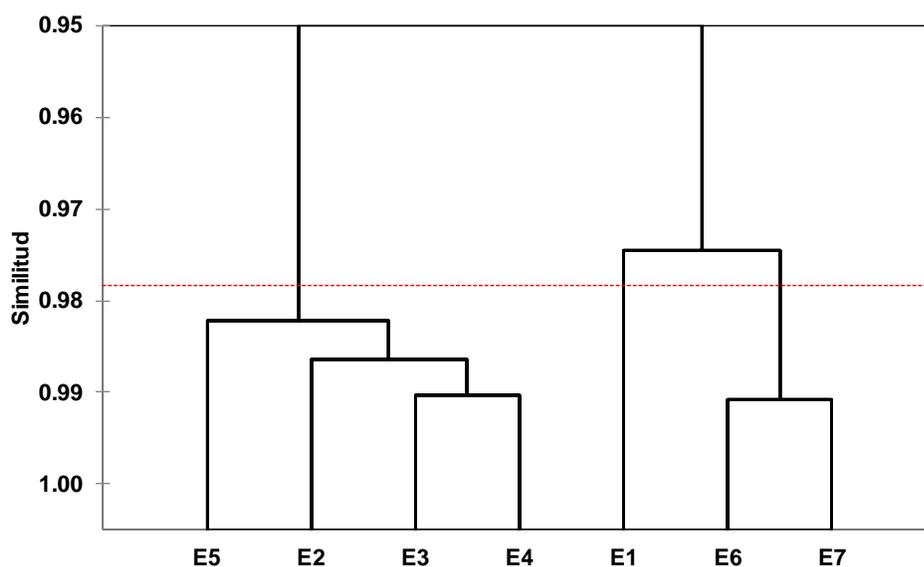
representado por los sitios Las Huertas y Agua Salada (E6 y E7 respectivamente) presenta una similitud de 98% los cuales estuvieron asociados por sus altos porcentajes de vegetación natural, poco impacto de uso de suelo urbano y agrícola, valores de H' menores a 2 y una mayor abundancia de las especies *P. maylandi*, *T. elleri* y *A. istlanum*; el grupo II tiene una similitud del 99%, conformado por las localidades de la parte media Amacuzac (E3) y El Estudiante (E4) en donde se presentan porcentajes altos de agricultura asociados al dominio del uso de suelo urbano, así como una H' menor a 1.5, y a abundancias similares de *A. mexicanus*, *P. gracilis* y *N. moralesi*; el grupo III comprende las localidades Huajintlán (E2) y Chisco (E5) donde predomina el uso de suelo agrícola, asociadas a un porcentaje bajo de presencia urbana, y una H' menor a 1.5.



**Figura 30.** Análisis de agrupamiento para los sitios de estudio del río Amacuzac, empleando datos de los usos de suelo, abundancias de especies de peces y valores del índice de diversidad (H'). E1) Dos Bocas E2) Huajintlán; E3) Amacuzac; E4) El Estudiante; E5) Chisco; E6) Las Huertas; E7) Agua Salada.

El análisis jerárquico de agrupación AJCP-II, elaborado con las características fisicoquímicas, los usos de suelo, la abundancia y H' (Fig. 31) muestra tres grupos, el grupo I con un 98.2% de similitud, comprende tres subgrupos, el subgrupo "a" corresponde a Chisco (E5) que es el que presenta la mayor riqueza de especies y mayor abundancia, en el subgrupo "b" se encuentra Huajintlán (E2) que es el que

exhibió los valores mayores de coliformes fecales y totales en el agua, y de las variables correspondientes al sedimento como la densidad aparente, densidad real, % de arena, y el subgrupo “c” exhibe a Amacuzac (E3) y El Estudiante (E4), que se relacionan con un alto porcentaje de zona urbana, y baja vegetación natural y por compartir 11 especies de peces; así como valores relativamente bajos de H'. el grupo II está conformado únicamente por la localidad Dos Bocas (E1), por presentar mayor cobertura vegetal, valores bajos de temperatura del agua, dureza, alcalinidad, cloruros y coliformes totales, y una mayor demanda bioquímica de oxígeno mayor demanda bioquímica de oxígeno y pH-kC del sedimento, así como valores bajos % de M.O y C, Ca en el sedimento y una baja H'; el grupo III se asoció con los sitios Las Huertas (E6) y Agua salada (E7) con un 98% de similitud, debido a su baja expansión de uso de suelo urbano y alta cobertura vegetal, abundancias altas de varias especies introducidas asociadas a una alta H', así como altos valores en variables del hábitat como temperatura del agua, conductividad, TSD, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>, una baja DBO<sub>5</sub>, bajos valores de coliformes fecales y totales, así como valores bajos en variables del sedimento tales como la densidad real y aparente y altos porcentajes de M.O y C, y minerales (Ca y Mg) y presencia de textura fina (arcilla y limo) (Fig. 31).

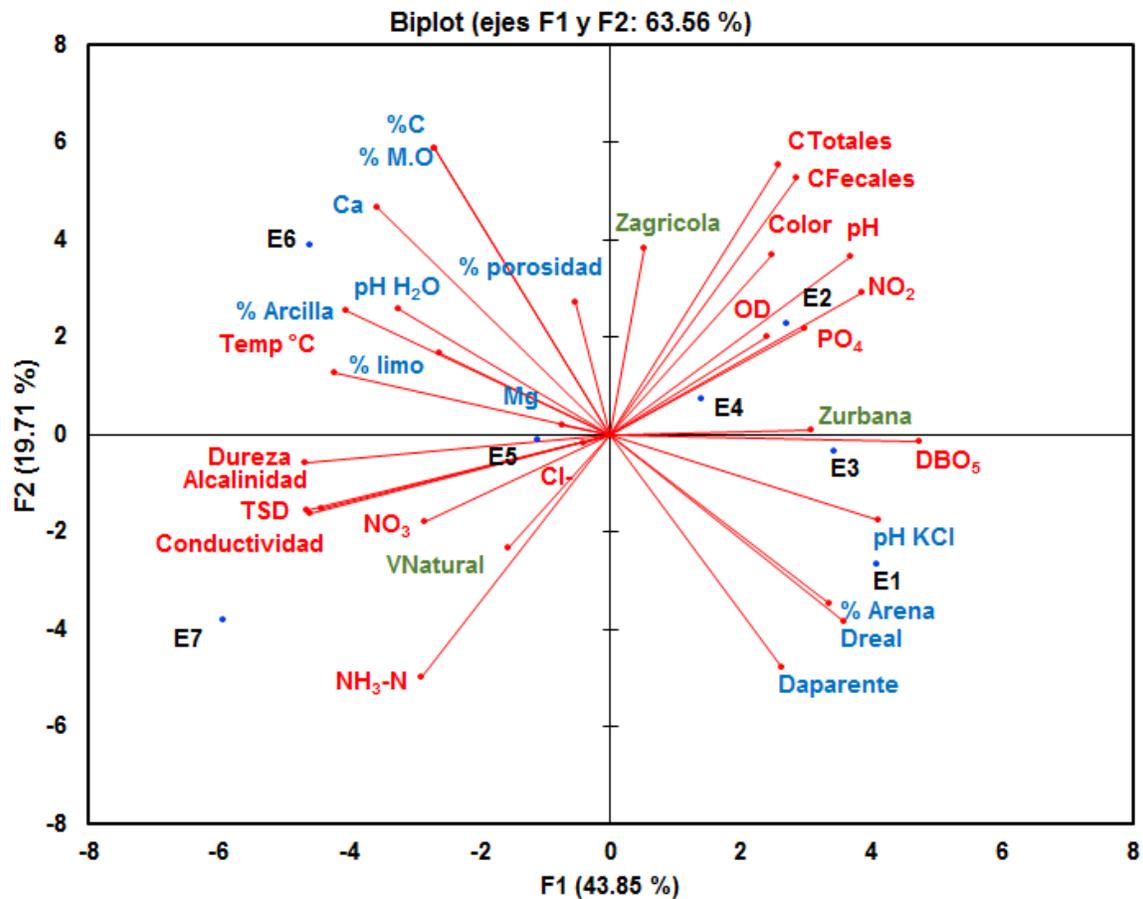


**Figura 31.** Análisis de agrupamiento para los sitios de estudio del río Amacuzac, empleando datos de los usos de suelo, parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento, abundancias de especies de peces y valores de biodiversidad (H'). E1) Dos Bocas E2) Huajintlán; E3) Amacuzac; E4) El Estudiante; E5) Chisco; E6) Las Huertas; E7) Agua Salada.

## 6.10. Análisis de Componentes Principales

El ACP con relación al uso de suelo con los parámetros fisicoquímicos y la edafología de cada sitio de estudio, muestra una varianza explicada de 63.56%. En el primer componente donde se muestra el 43.85% de la varianza explicada, se vio asociado con el uso de suelo urbano (margen derecho), donde se observan los dos sitios con mayor asentamiento humano (Amacuzac y El Estudiante), observándose también la presencia del sitio de referencia Dos Bocas, mostrándose en la parte superior una relación con valores altos de OD, NO<sub>2</sub> y PO<sub>4</sub> y pH, mientras que en la parte inferior se vieron correlacionados con una mayor DBO<sub>5</sub>, un alto pH-kCl. Mientras que, en el margen superior izquierdo, se encuentran solamente variables del sedimento como el pH en agua, Mg, % de arcilla, % de limo y la temperatura del agua, en tanto que el en inferior se localizan los sitios Chisco y Agua Salada, relacionadas con altos valores de dureza, alcalinidad, conductividad, TDS, NO<sub>3</sub> y los cloruros (Fig. 32).

El segundo componente aporta el 19.71 % de la varianza, mostrando una relación con los tipos de suelo de zona agrícola (lado superior derecho) y vegetación natural (lado inferior izquierdo), el primer tipo de suelo se relación con el sitio Huajintlán, así como a altos valores de coliformes fecales y totales en el agua, y a las variables correspondientes al sedimento como la densidad aparente, densidad real, % de arena, mientras que el tipo de suelo de vegetación natural se correlacionó con el sitio Las Huertas el cual presenta una mayor cobertura de vegetación natural en relación con altos valores del sedimento como % de MO, % de C, Ca y % de porosidad y NH<sub>3</sub>N en el agua (Fig. 32).



**Figura.32.** Diagrama del análisis de componentes principales (ACP) de los sitios de estudio del río Amacuzac en relación con los usos de suelo, parámetros fisicoquímicos y edafología del suelo. A) sitio de estudio: Dos Bocas (E1), Huajintlán (E2), Amacuzac (E3), El Estudiante (E4), Chisco (E5), Las Huertas (E6), Agua Salada (E7)., B) Edafología: Materia orgánica (%MO), Carbono (%C), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Densidad real (Dreal), Densidad aparente (Daparente), potencial de hidrogeno en agua (pH-H<sub>2</sub>O), potencial de hidrogeno en cloruro de potasio (pH-KCl), C) variables fisicoquímicas: Temperatura (Temp °c), nitrato (NO<sub>3</sub>), nitrito (NO<sub>2</sub>), nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-N), fósforo (PO<sub>4</sub>), oxígeno disuelto (OD), demanda biológica de oxígeno posterior a los cinco días (DBO<sub>5</sub>), coliformes totales y fecales (CTotales y CFecales).

## 7. Discusión:

### 7.1. Cambio de uso de suelo

Los cambios de uso de suelo que se han venido realizando en los distintos periodos de años a lo largo de la cuenca del Amacuzac, han traído como consecuencia afectaciones en el régimen de flujo hídrico y la calidad del agua en distintos puntos de muestreo. Si bien el uso de suelo agrícola fue representativo en los tres periodos de contraste (1997, 2001 y 2016), observándose una mayor concentración de actividad agrícola en la parte media de la cuenca donde se encuentran ubicadas las localidades Amacuzac, El Estudiante y Chisco, siendo estas tres localidades las que también registraron los cambios más drásticos de uso de suelo, puesto que en los años 2001 y 2016, el inicio y la expansión de asentamientos humanos se vio reflejado, trayendo consigo la disminución de la vegetación secundaria de la selva baja caducifolia, así como la transición de bosques como pino-encino, pino, encino y táscate. Pacheco-Díaz (2011), menciona que la vegetación secundaria es el resultado de los cambios en la vegetación nativa, a consecuencia de desastres naturales, incendios e inundaciones, así como también en gran medida por las acciones humanas, como es el desmonte y avances de la frontera agropecuaria y expansión de la urbanización. Cuevas *et al.* (2010), reportan que las actividades que más consecuencias han tenido sobre la vegetación natural en México son la ganadería, la agricultura y el crecimiento de los asentamientos humanos y las zonas urbanas, las dos primeras han tenido un impacto significativo desde antes de la década de los 70 del siglo veinte, la última ha registrado un incremento importante a partir de esa década (1970 a 1993), constituyéndose en la actualidad en el cambio de uso de suelo más importante de algunas regiones del país

El análisis de la tasa media de crecimiento anual, proyectó como la disminución y el incremento de los tipos de uso de suelo se ven relacionados entre sí, por ejemplo la tasa de cambio de 2001-2016 fue positiva para RAS (5.18), RS (1.33), TAS (18.59), si bien en este periodo hay un decremento en la tasa media para la vegetación natural, tal como SBC (-6.29), BQ (-4.79), BQP (-2.21) de acuerdo con lo anterior se puede decir

que a medida que surgen nuevos usos de suelo en relación agrícola se procede a un desmonte de la vegetación natural lo que lleva a una disminución de esta o a una transición. En tanto que para otros usos agrícolas tales como RA y TA la tasa media en el periodo 2001-2016 se vio negativa lo que quiere decir que este tipo de vegetación se vio modificado para uso urbano y por ende para la creación de cuerpos de agua los cuales presentaron una etapa de crecimiento positivo en este periodo (4.86 y 13.73 % respectivamente).

Figuroa-Jáuregui *et al.* (2011), reportan que el cambio de uso de suelo en la cuenca de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, donde observaron una tasa media anual negativa para los tipos de suelo de bosque de encino y bosque mesófilo de montaña en distintos periodos (1975, 1993, 2000 y 2009), mientras que se registraba una tasa de cambio positiva para la expansión de agricultura temporal y zona urbana. Si bien ellos mencionan que también hubo una disminución en áreas agrícolas, debido al abandono de la agricultura por pequeñas poblaciones aledañas a la ciudad de San Cristóbal. Esto mismo reporta Pacheco-Díaz (2011) quien registró cambios en el uso de suelo a lo largo de la cuenca del río Hondo en la península de Yucatán, indicando que la vegetación secundaria fue el resultado de los asentamientos humanos y de los pastizales, así como de la agricultura. Por otro lado, Márquez-Linares *et al.* (2005), reportaron un remplazo de áreas arboledadas por chaparrales y comunidades herbáceas, registrando una tasa de deforestación anual de -2.4%, en un periodo de tiempo de 30 años (1970-2000) en una microcuenca cercana a la ciudad de Durango, México. Observándose que los autores anteriores indican que las principales causas de cambio fueron la ganadería extensiva, la agricultura de temporal, la extracción de leña y la incidencia de incendios forestales. Este tipo de pérdida de cobertura natural también se observó en la cuenca del río Metzititlán, Hidalgo (Valdez-Lazalde *et al.*, 2011), en un periodo de 22 años, observando dos procesos muy marcados: 1) una pérdida forestal de 0.5% anual, viéndose afectados el uso de suelo de matorral y bosque de coníferas y latifoliadas, transformándose a un suelo agrícola y 2) un incremento anual de 4.3% de mancha urbana ocupando espacios anteriormente destinados en agricultura de temporal, de riego y pastizales.

Cuevas *et al.* (2010) reportan que entre el periodo de 1976 al 2009, en la cuenca del Balsas a la que pertenece el río Amacuzac, se destruyó el 14% de su vegetación primaria (521,000 ha), lo que equivale al 5% de la pérdida total nacional, mientras que en lo que respecta a la vegetación secundaria, fue de 825,228 ha, lo que representa el 23% a nivel nacional, registrando que la agricultura fue el cambio de uso de suelo más importante en esta cuenca, así mismo, reportan que un total de 4,214 ha de selvas subhúmedas primarias pasaron a secundarias.

Escandón-Calderón *et al.* (2018), en su estudio realizado entre los periodos de 2000 al 2009 en todo el estado de Morelos, mencionan que las actividades agrícolas tienen un papel preponderante ya que presentaron un crecimiento considerable en los años evaluados, lo que ha provocado una pérdida de cobertura natural (selvas y bosques), lo cual puede incidir en la fertilidad y erosión del suelo. Así mismo, mencionan que hay una importante transición de selvas y bosques a vegetación con disturbio, y esta a su vez en pastizales y suelo agrícola, lo que refleja la sucesión ecológica que experimenta la vegetación natural, principalmente la selva baja caducifolia, cuya disminución porcentual fue de 22 % (año 2000) a 18 % (año 2009). También mencionan que las políticas públicas, relacionadas con la conservación y manejo de los bosques, están canalizadas hacia el norte del estado (sierra del Chichinautzin), con insuficiente cobertura en las regiones donde prevalece la selva baja caducifolia.

Con base en lo anterior, se puede observar que el cambio del uso del suelo en el Estado de Morelos en el cual está inmersa la cuenca del río Balsas es muy grande, lo cual de una manera ha afectado a los ecosistemas ribereños del Estado, registrándose cambios en la estructura de sus comunidades de flora y fauna, así como la presencia de metales pesados con niveles altos como cadmio, cromo, mercurio, manganeso, aluminio y hierro, los cuales pueden tener efecto sobre la biota acuática, así como la presencia de clorpirifós, los cuales son plaguicidas organofosforados que tienen una gran capacidad de inhibir la Acetilcolinesterasa de los organismos acuáticos y que están presente en diferentes localidades del río Amacuzac en cantidades por encima de

los límites recomendados por la EPA, lo cual afecta el crecimiento de los peces (Jarvinen *et al.*, 1988; Norberg-King, 1989; Rao *et al.*, 2005; Pita, 2018).

## **7.2. Características del sedimento del río**

Los sedimentos tienen funciones esenciales en los ríos como son: el desarrollo del cauce en sus cambios de forma (ancho, profundidad, formación de islas o bancos de arena), sirven para minimizar la degradación del fondo ya que suplen el sedimento en zonas erosionadas, en la formación de hábitats para un gran número de organismos vivos, en el transporte de nutrientes. Algunos riesgos del transporte de sedimentos son el cambio del ancho del cauce durante las avenidas, los deslizamientos de materiales, y los flujos de lodos y escombros en las inundaciones.

El transporte de sedimentos está fuertemente relacionado con la hidrología y la geomorfología de la cuenca. Las variaciones que se producen son espaciales y temporales. La variación espacial viene marcada, sobre todo, por la naturaleza y el tamaño del sedimento, ya que los tamaños gruesos (grava y arena) tendrán menor movilidad que los finos (limos y arcillas) que son transportados como carga suspendida. Las variaciones temporales estarán marcadas principalmente por la climatología y el régimen de los ríos (Ruíz *et al.*, 1994).

El sedimento es hábitat de miles de organismos y el escenario donde ocurren los ciclos biogeoquímicos, posee propiedades físicas, químicas y biológicas entre las que destacan las propiedades físicas que determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre sujeta dicho recurso, de forma que pueden determinar la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Ceccon, 2003). De la misma manera, se ha comprobado que el clima, la altitud, los factores topográficos y edáficos afectan el desarrollo del sedimento, determinando la distribución vegetal a escala local (García y Vollmann, 2012).

Salamanca y Sadeghian (2005) menciona que la densidad aparente ( $D_a$ ) se ve afectada por el tipo de textura presente en el sedimento, puesto que, en sedimentos de textura fina, la  $D_a$  varía entre 1 y 1.2  $\text{g.cm}^3$  mientras que en sedimentos arenosos es mayor variando entre los 1.2 y 1.6  $\text{g.cm}^3$ . En este estudio seis de las siete localidades estudiadas mostraron una textura arenosa, mientras que la localidad río abajo (Las Huertas) fue la que exhibió valores relativamente altos de limo y arcilla en comparación con el resto de las localidades, mostrándose una variación de la  $D_a$  promedio de 1.08 a 1.40, siendo Las Huertas la que exhibió el valor más bajo (1.08  $D_a$ ), así mismo, se pudo observar que la materia orgánica (MO) y el porcentaje de porosidad también registraron valores altos en esta localidad, mientras que Amacuzac mostró el valor más alto de  $D_a$  y un promedio de 96.53% de arena y 0.28 % MO, así como un porcentaje bajo de porosidad. Klein y Libardi (2002) y Murray *et al.* (2014), afirman que el principal efecto de la compactación causada por algunas labores de uso y manejo del sedimento sobre la  $D_a$  se ve reflejado en la porosidad, ya que al aumentar la  $D_a$  disminuyen los macroporos y aumentan los microporos, causando deficiencia de aireación. Cabe mencionar que el punto de estudio en Amacuzac presenta un gran cimiento de concreto que sostiene un puente de paso vehicular, lo que pudo provocar la compactación del sedimento en este sitio. Estos datos concuerdan con lo reportado por Salamanca y Sadeghian (2005), quienes mencionan que a valores altos de  $D_a$ , existe un bajo porcentaje de MO y a su vez un alto % de textura arenosa.

Buytaert *et al.* (2006) y Tonneijck *et al.* (2006) indican que, las menores altitudes, aumento en temperaturas y precipitación, favorecen la descomposición de la MO, la cual a su vez se ve relacionada con el aumento de carbono en el sedimento. García y Schlatter (2012) mostraron que en sitios con una altitud baja y con un mayor porcentaje de limo y arcilla (34 y 50.4 % respectivamente), presentan la mayor cantidad de carbono. Este panorama se puede observar en el estudio realizado, en la localidad Las Huertas, la cual se ubica en la parte baja de la cuenca a una altitud de 765 msnm, también fue la localidad que registró presencia de arcilla y limo (7.20 y 6.53 % respectivamente), mostrando 1.28  $\text{Kg M}^{-3}$  de carbono en comparación con el resto de las localidades las cuales exhibieron valores menores a 0.5  $\text{Kg M}^{-3}$ , y a su vez este

valor alto de carbono tiene que ver con la entrada de MO y la disminución de la Da, puesto que este sitio fue el que registró un valor promedio alto de %MO (2.23) y de acuerdo con el análisis de correlación de Spearman se obtuvo una correlación positiva perfecta ( $R= 0.99$ ) entre % MO y % de porosidad, así como una correlación positiva entre el %MO y % de arcilla. ( $R=0.60$ ) y una correlación negativa entre el %de carbono y la DA ( $R=-0.75$ ). Murray *et al.* (2014) mencionan que la MO está influenciada principalmente por el estado de conservación de la vegetación, al acumularse mayor cantidad de residuos vegetales de árboles altos, el contenido de MO incrementa, si bien Las Huertas es uno de los sitios con mayor presencia de vegetación en los márgenes del río.

Domínguez *et al.* (2012) mencionan que el color del sedimento guarda una estrecha relación con los componentes sólidos (MO, textura, composición mineralógica) siendo los metales de transición, principalmente, los que pueden dotar a los sedimentos esa característica particular. De acuerdo con la lectura de las cartas de Munsell, los sitios de estudio presentaron coloraciones que van de marrón a gris oscuro, registrando que esta coloración (parda o marrón) que presentan los sedimentos, es indicativo de estados iniciales a intermedios de alteración de este bajo ambientes aerobios (oxidación) que a su vez se relaciona con condiciones de niveles bajos a medios de MO y un rango muy variable de fertilidad. Si bien los sitios de este estudio que presentaron la coloración parda registraron un porcentaje de MO, que va de 0.34 a 1.02.%. y una textura arenosa, esto concuerda con lo reportado por Domínguez *et al.* (2012) quienes registraron bajos contenidos de materia orgánica con una fluctuación en un rango de 0.65 a 1.76%, y una textura franco-arenosa, con altos porcentajes de arena (>50%), con coloraciones que van de pardo amarillo a grises oscuros. Mientras que la localidad de la parte baja (Las Huertas) mostró una coloración entre gris en estado seco y gris oscuro en estado húmedo, esto se debe a su alto contenido de MO, y la textura arcillosa que presentó.

### 7.3. Calidad de hábitat

Los ecosistemas acuáticos continentales son susceptibles no solo a los impactos directos sino también a los impactos indirectos de las perturbaciones en otras partes de la cuenca, todo lo cual puede contribuir a la disminución de la calidad del hábitat y por ende a la pérdida de biodiversidad, por lo que los programas de conservación terrestre solo consideran las amenazas adyacentes al sitio de interés, sin embargo, la conservación de los sistemas de aguas continentales debe tener en cuenta la naturaleza conectada de los ríos, que presentan un fuerte componente direccional (Ward *et al.*, 2002; Moilanen *et al.*, 2008; Linke *et al.*, 2011). Barbour *et al.* (1994) mencionan que el hábitat físico se define como el espacio dinámico donde vive la biota acuática la cual está compuesta por la interacción entre el canal y el régimen hidrológico.

Fernández *et al.* (2011), mencionan que la evaluación del hábitat físico es un enfoque común en los estudios geomórficos que tienen como objetivo caracterizar el ámbito físico y explicar los procesos involucrados en la creación de heterogeneidad espacial y características físicas particulares y que la caracterización de los elementos del hábitat físico también es fundamental en los estudios ecológicos diseñados para explicar la heterogeneidad física, los patrones de distribución de los organismos, la composición y la estructura de las comunidades biológicas o la función del ecosistema y que en la geomorfología y ecología fluvial, la evaluación del hábitat físico también es extremadamente importante para comprender cómo funcionan los ecosistemas fluviales.

Con base en el análisis de la caracterización del hábitat se registró que los sitios considerados como zonas de referencias Dos Bocas ubicado en la cabecera del río, y Agua salada ubicada en los límites de Tlaquiltenango y Puente de Ixtla, ambos se consideraron sitios subóptimos con valores de 0.78 y 0.70 respectivamente, debido a que presentaron una mejor estructura física, una mayor disponibilidad de recursos y mejor condición de vegetación de riveras, si bien los sitios El Estudiante y Chisco

también registraron una calidad de hábitat subóptima, sin embargo, los valores obtenidos fueron bajos (0.69 y 0.67) en comparación de los sitios de referencia, lo contrario a las localidades Huajintlán, Amacuzac y Las Huertas los cuales presentaron valores que los ubican como sitios marginales debido a que obtuvieron valores bajos que se encuentran dentro del rango 0.35-0.64 el cual es considerado como una calidad de hábitat Marginal.

Torrente (2016) menciona que los cambios de uso de suelo como por ejemplo, la eliminación de bosques ribereños, extracción de sedimentos y rocas de fondo de río pueden remover o transformar completamente algunos tipos de hábitats si bien este panorama se ve reflejado en la localidad de Huajintlán y Amacuzac, puesto que se observó desmonte de la vegetación natural en los márgenes del río, actividad agrícola entre otras como el lavado de cuatecomate, lo que provoca una deposición de grandes cantidades de semillas alterando el fondo y la sedimentación natural esto en Huajintlán, mientras que en la localidad Amacuzac está inmersa en lo que es la zona urbana, si bien en este sitio hay presencia de canalización, desmonte de vegetación, pequeños sitios de ganadería y agricultura.

La caracterización de algunos sitios de estudio como Dos Bocas difieren con lo reportado por Pita (2018) quien registro que este sitio presentaba una calidad de hábitat optimo, puesto que en el tipo de caracterización de hábitat, no mostraba una perturbación con alto impacto, sin embargo, en el análisis actual, el sitio presentaba la presencia de chozas de madera empleadas para venta de comida lo que a su vez implica el lavado de trastes teniendo como consecuencia la entrada de detergente y aceites en lo que es el sistema, mientras que para el sitio Huajintlán, en ambos periodos de estudio obtuvo las calificaciones más bajas, colocándola dentro del rango marginal. Mena *et al.* (2017) realizaron la caracterización del hábitat del río Zahuapan en el estado de Tlaxcala, registraron que los sitios considerados como referencia presentaban una condición optima, sin embargo, la caracterización de los sitios perturbados presentaron bajas calificaciones conforme a los criterios lo cual las categorizaron como zonas pobres, a diferencia de lo observado en las localidades de la

parte media del río, en el presente estudio, en donde si bien se encuentran impactadas por lo que su condición las coloca como zonas marginales.

Estudios internacionales como los realizados por Acosta *et al.* (2009) en 45 y 42 estaciones en el Ecuador y Perú, mencionan que alteraciones como la disminución de la cobertura vegetal, la canalización del río, presencia de estructuras rígidas, la presencia de basura son factores que se registraron en algunas estaciones, lo que clasifica a los sitios como “alterados”, así mismo observaron que algunos sitios de la parte alta, se encontraban poco impactados por lo que obtuvieron una mayor calificación en ambos índices como el índice del hábitat fluvial e Índice de la Calidad del bosque ribereño. Camarero y Vicente (2010) mencionan que la calidad de hábitat mejor representada se observa en los arroyos de terrenos abandonados que en los terrenos agrarios, siendo la rectificación de cauce y ocupación de ribera, los principales factores que impactan el sistema, de acuerdo con los índices, Protocolo de bioevaluación rápida (RBP), índice de calidad de ribera (RQI) y QBR aplicados en arroyos de Madrid.

#### **7.4. Variables fisicoquímicas y biológicas del agua**

La composición química del agua de un río es determinada por varios factores entre los cuales se encuentra la precipitación, la geología, la solubilidad de las rocas o materiales, la vegetación terrestre, los procesos de evaporación, los procesos biológicos y la contaminación o vertidos de origen humano que son arrastrados a la cuenca (Toro *et al.*, 2002).

Los resultados de este trabajo evidencian variaciones espaciales y temporales en algunas de las variables fisicoquímicas y microbiológicas analizadas. De la caracterización fisicoquímica destacan las variables relacionadas con la mineralización del agua (la conductividad, la dureza y alcalinidad) y sólidos disueltos (TSD) las cuales exhibieron sus máximos valores en los sitios de la parte baja del río (Chisco y Las Huertas) y la localidad Agua Salada siendo esta última la que registró los promedios

más altos en las tres variables y de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994, las concentraciones registradas del TSD se encuentran por debajo de los LMP. Estos tres sitios presentan una mayor área de vegetación, lo que puede estar relacionado con los altos valores en estas variables. Este panorama se observó en el estudio realizado por Segnini y Chacón (2005) en ríos andinos con distintas unidades ecológicas, observando que el sistema que presentaba bosque registró altos valores de estas cuatro variables antes mencionadas por arriba de los 800  $\mu\text{s/cm}$ , 300 mg/L y 500 mg/L, lo cual también se vio relacionado con las altas concentraciones de sólidos disueltos.

Si bien, la localidad Agua Salada es un sistema aparte del río Amacuzac, el cual presenta características de un sistema termal, y esta zona es explotada mineralmente, lo que provoca que las partículas de los minerales se vean arrastrados por el factor viento y estos lleguen a lo que es el sistema. Allan (1995), Toro *et al.*, (2002) y Segnini y Chacón (2005) mencionan que la mineralización del agua en los sistemas de aguas corriente naturales, están determinadas principalmente por el clima y la geología del terreno.

En cuanto a los valores altos de las variables antes mencionadas, en las localidades de la parte baja del río (Chisco y Las Huertas), se puede deber al arrastre por escorrentía superficial, desde la parte alta hasta la parte baja, promoviendo el desprendimiento y arrastre de partículas, si bien los sitios que promueven mayor carga de partículas son aquellos con presencia urbana y agrícola, los cuales se encuentran ubicados en la parte media lo que con lleva a registrar valores altos de las variables en la parte baja, las zonas agrícolas y urbanas no son las únicas fuentes de producción de sedimento, sino que también se debe considerar los tributarios que se integran al sistema, tal es el caso del río Yautepec y Cuautla los cuales pasan por una mayor extensión de zonas conurbanas y agricultura, provocando un aumento en los niveles de las variables fisicoquímicas en la parte baja. Minshall *et al.* (1985) menciona que los cambios importantes en una corriente hidrológica pueden estar influenciada por una creciente de aguas abajo por la participación de tributarios que se agreguen a la corriente principal. De manera temporal se puede observar que en época de estiaje los

valores de la conductividad, dureza, alcalinidad y TSD se ven favorecidos, incrementando sus niveles, tal como lo reporta Pérez *et al.* (2016) quienes observaron variaciones notables entre temporadas y jagüeyes en un parque estatal dentro de un área natural protegida, siendo la temporada de estiaje la que registró los máximos valores superiores a los 280  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , lo que indicaba mayor concentración de sólidos disueltos y sales disueltas.

Los valores de pH registrados en las siete localidades colocaron al sistema como un río de pH básico, siendo la localidad Agua Salada el único sitio que registró valores cercanos a un pH neutro, si bien en los meses de temporada de estiaje (febrero y abril) el pH en los sitios de la parte alta del sistema (Dos Bocas y Huajintlán), registraron valores que sobrepasan el límite máximo permisible, de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 y al criterio ecológico de calidad del agua los cuales decretan que para uso de agua de consumo humano el agua debe registrar un pH entre los 6.5 y 8.5. Esto posiblemente se deba a que en el sitio Dos Bocas el vertido de agua con jabón y aceites, modificaron los valores de ese sitio, mientras que en la localidad de Huajintlán, se pudo ver modificado por la actividad que realiza la gente en el lavado de la fruta del cuatecomate.

Respecto a la lectura de temperatura, este registró diferencias por meses y por sitio, siendo en la temporada de estiaje cálido (abril) donde se presentaron las temperaturas altas oscilando entre los 24 y 34 °C y las más bajas en el mes de diciembre (16-29°C), de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, estos valores se encuentran dentro de los LMP (40°C). De manera espacial, la localidad de cabecera del río (Dos Bocas) registró las temperaturas más bajas mientras Agua Salada exhibió constantes temperaturas por arriba de los 25°C, a lo largo de periodo de estudio, cabe mencionar que esta localidad presenta características de un sitio de aguas termales. Otra localidad que registró temperaturas por arriba de los 28°C en febrero y abril fue Huajintlán, esta localidad es uno de los sitios con un mayor impacto paisajístico, puesto que presenta una mayor deforestación por las actividades agrícolas, se infiere que la vegetación tiene varias funciones dentro de un ecosistema y uno de ellos es disminuir la

temperatura (Granados-Sánchez *et al.*, 2006). Sweeney *et al.* (2004) y Naiman *et al.* (2005), mencionan que al remover los bosques ribereños se alteran las condiciones físico, químicas y biológicas de los ríos, así como su estructura y función.

La variable color registró diferencias significativas entre los periodos de estudio, observándose valores que sobrepasan las 20 unidades Pt-Co de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994, en los meses de abril y diciembre, siendo las localidades de la parte alta Dos Bocas y Huajintlán los sitios que presentan los máximos valores. Si bien esta variable muestra el grado de opacidad en el agua debido a la presencia de material particulado en suspensión. La concentración de sustancias determina la transparencia del agua debido a que hay una limitación en la entrada de luz. Los niveles altos en Dos Bocas y Huajintlán en el mes de diciembre posiblemente se debió a que hubo un mayor arrastre de partículas por la turbulencia que provocaron las altas precipitaciones que se registraron meses anteriores, a la fecha de muestreo, cabe mencionar que en Huajintlán, se observa una mayor erosión de los bordes lo que propicia se altere los valores de este parámetro.

Con relación a los nutrientes, en el mes de febrero se registraron valores superiores a los LMP de nitratos, con una concentración que va de 40.7 a 59.8 mg/L, esto de acuerdo con la NOM-127-SSA-1994 para el abastecimiento de agua potable, sin embargo, para la vida acuática aún no se tiene determinado valores límites. Chapman (1996) menciona que la entrada natural de los nitratos al sistema es por el lavado de rocas ígneas, drenaje de tierra, así como al desecho y descomposición de plantas y animales. Así mismo, menciona que las concentraciones superiores a 5 mg/L generalmente indican contaminación por desechos humanos o animales, o escorrentía de fertilizantes. En cuanto a los nitritos se mantuvieron por debajo de los LMP durante todo el periodo de estudio, si bien se puede observar ligeras variaciones de esta variable entre los meses de estudio siendo el mes de abril el que registra valores relativamente altos en su mayoría de 0.13 mg/L y en la mayoría de los sitios de muestreo la profundidad y la corriente disminuyeron, lo que posiblemente permitió que estos nutrientes quedaran en suspensión.

Este panorama también fue descrito por Fontalvo y Tamaris (2018), en la zona baja del río Córdoba, Colombia, ellos observaron que los nutrientes registraron una marcada diferencia estacional, los nitratos registraron sus máximos en la temporada de lluvias y valores bajos en temporada de estiaje, mientras que para los nitritos fue al revés, registrándose una mayor variación en la temporada de estiaje. Huajintlán fue el sitio que registro los valores más altos en comparación del resto de las localidades, esta localidad presenta grandes hectáreas de actividad agrícola, puesto que es la principal causa de la entrada de fertilizantes naturales y artificiales al río. Torrente (2016) menciona que el aumento de nutrientes en los sistemas es generado por los cambios de uso de suelo, el cual a su vez acelera los procesos ecológicos como la descomposición de hojarasca, la cual está asociada a la respiración y reciclaje de materia orgánica.

En cuanto al nitrógeno amoniacal y el fosforo no se registraron diferencias significativas de manera espacial y mensual, sin embargo, para ambos parámetros en el mes de noviembre, se registraron valores relativamente altos en comparación con los otros meses de estudio, registrando una variación de 0.15 a 2.3 mg/L N y 0.04 a 0.81 mg/L P, de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994, el LMP de nitrógeno amoniacal es de 0.50 mg/L, siendo las localidades de la parte alta y media las que registraron valores por arriba de ese nivel, así como la localidad Agua Salada la cual fue la que mostró los valores más altos en los cuatro meses de muestreo. En cuanto a los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89), los valores registrados en todos los meses y en todas las localidades sobrepasan los LMP para la protección de vida acuática el cual es de 0.06 mg/L N. Alexander *et al.* (2008) menciona que las cuencas hidrográficas con fuentes predominantemente urbanas y agrícolas tienen los rendimientos de nutrientes más altos, mientras que los sitios dominados por bosques y arbustos tienen los más bajos.

En cuanto al fósforo se observó que en los meses de febrero y abril, los valores fueron relativamente altos registrando una variación de 0.14 a 0.81 mg/L en febrero y de 0.04 a 0.40 mg/L en abril, mientras que en diciembre, los valores fueron

relativamente bajos, el sitio Agua Salada fue el que tuvo las concentraciones más bajas de fosforo, Granados-Sánchez *et al.* (2006) menciona que sitios con abundante vegetación ribereña logra retener hasta el 95% de fosforo que por escorrentía logra llegar hasta el cauce, puesto que Agua Salada es uno de los sitios que presentan una mayor vegetación en los márgenes y esta misma registra una calidad óptima de hábitat, sin embargo, de acuerdo con los CE-CCA-001/89 las concentraciones de fosforo sobrepasan los LMP (0.0001mg/L) para la protección de vida acuática.

La entrada de nutrientes a los ecosistemas acuáticos, no solo se da por la actividad agrícola, las descargas municipales, sino que también una de las principales fuentes de fósforo (P) es el excremento, si bien la localidad de Dos Bocas no presenta actividad agrícola, sin embargo, hay entrada de caballos en el sitio, lo cual propicia que haya una acumulación de estiércol, el cual se incorpora al sistema por el viento. Alexander *et al.* (2008) analizaron las diferencias de la entrada de P y nitrógeno (N) en el golfo de México, desde la cuenca del río Mississippi, demostrando que las fuentes agrícolas contribuyen con más del 70% del N y P, siendo el cultivo de maíz y soya el que contribuye con el 52 % de N, seguida de las fuentes de deposición atmosférica con un 16%, mientras que el P se origina principalmente del excremento animal (37%) seguido del maíz y soya (25%) y fuentes urbanas (12%).

La determinación de oxígeno indicó que diciembre fue el mes que registró los valores más altos tanto de oxígeno disuelto, como de saturación de oxígeno (% OD) con valores que van de 8.28 a 14.51 mg/L y 118.7 a 173.4 mg/L respectivamente. Siendo las localidades de la parte alta (Dos Bocas, Huajintlán, y Amacuzac) los sitios que registran los valores más altos. En aguas continentales, el oxígeno disuelto, al nivel del mar tiende a variar de 15 mg/L a temperaturas de 0°C a 8 mg/L a temperaturas de 25°C (Chapman, 1996). En cuanto a las localidades de la parte media, se pudo observar que la cantidad de oxígeno disuelto en el agua es menor que las localidades de la parte alta, si bien esto se puede relacionar con la hora de muestreo, puesto que el oxígeno se mantiene más en aguas frías que en calientes (Torres, 2009, Mendoza *et al.*, 2014), Si bien se puede observar que, durante el tiempo de muestreo, los valores

observados fueron mayores a 5 mg/L en todas las localidades del río, con excepción de Agua Salada la cual mostró valores por debajo del valor recomendado.

Granados-Sánchez *et al.* (2006) menciona que dentro de un sistema de escurrimiento se forman una multitud de microambientes, los cuales surgen de la combinación de los remansos (pozas) y los rápidos, producidos por las rocas, cantos y por la formación del fondo, al mismo tiempo, esta combinación de características físicas afecta o favorece la cantidad de oxígeno y bióxido de carbono. Si bien algunas localidades como lo son Chisco y Las Huertas presentan gran cantidad de sustrato rocoso y zonas de remanso, lo que podría verse relacionado con niveles de oxigenación relativamente altos. De acuerdo con los criterios ecológicos CE-CCA-001/89, el río presenta buenos niveles de oxígeno para la protección de vida acuática en aguas continentales.

La DBO<sub>5</sub> registró una variación durante los meses de muestreo que van de 0.2 mg/L en abril a 7.1 mg/L en noviembre, siendo este mes el que exhibió los valores más altos de todas las localidades, sin embargo, los valores obtenidos durante el periodo de estudio se encuentran por debajo de los LMP de acuerdo con la NOM-003-SEMARNAT-1996, para uso agrícola, público urbano y para protección de vida acuática. En los meses de noviembre y diciembre, se registraron los valores más altos, posiblemente se deba al arrastre y entrada de materia orgánica por la alta precipitación que hubo meses antes de la colecta, mientras que por localidad se puede observar que los sitios de la parte media son los que tuvieron los valores más altos, esto posiblemente se deba a que hay presencia de urbanización, lo cual provoca que haya una descarga de aguas residuales o sin tratamiento en el río. Vázquez (2009) concluyó que la DBO<sub>5</sub> aumenta posiblemente por el incremento de la población y el insuficiente tratamiento de las aguas residuales.

Los cloruros registraron sus máximos valores en los meses de abril y diciembre siendo las localidades Huajintlán, El Estudiante y Agua Salada, los sitios que mostraron valores por arriba de los LMP (250 mg/L) de acuerdo con el CE-CCA-001/89 para el

abastecimiento de agua potable y protección de vida acuática. Chapman (1996) menciona que la entrada de cloruros al sistema se debe a efluentes industriales y de aguas residuales, así como por la escorrentía agrícola y vial. Huajintlán es un sitio donde se lleva a cabo la actividad agrícola en grandes hectáreas, mientras que la localidad El Estudiante, es una zona donde hay construcción urbana, en cuanto a la localidad Agua Salada, en este sitio se lleva a cabo la extracción de minerales.

La lectura de los coliformes fecales, arrojó valores por arriba de los LMP para uso de agua potable, riego agrícola y uso recreativo de acuerdo con el CE-CCA-001/89, registrándose valores de 1700 NMP/100ml, esto en todas las localidades de muestreo que pertenecen al río Amacuzac, mientras que el sitio Agua Salada fue el único que mostró valores por debajo de los LMP durante todos los meses de muestreo, cabe aclarar que no hay zona urbana cercana al río.

Chapman (1996) menciona que las aguas residuales sin tratamiento provenientes de municipios aledaños a un sistema hídrico pueden contener de 10 a 100 millones de bacterias de coliformes por cada 100 ml. Los sitios como Amacuzac, El Estudiante y Chisco registran uso de suelo urbano, mientras que la localidad Huajintlán presenta uso de suelo agrícola y ganadera, a pesar de que Dos Bocas sea un sitio de referencia, este mostró valores por arriba de los 1000 NMP/100ml, esto posiblemente se deba a que, en la parte alta del punto de muestreo, hay presencia de suelo urbano, y es posible que no exista una tubería para mantener los desechos residuales.

## **7.5. Índice de calidad del agua**

La contaminación es el resultante de la degradación de la calidad de los recursos hídricos, debido a contaminantes originados por fuentes puntuales como desagües industriales o domésticos o por fuentes de origen difuso, como los fertilizantes, agrotóxico, combustibles, solventes entre otros, por lo que la calidad del agua debe ser el objetivo principal de un manejo de cuencas hidrográfica (Ceccon, 2003).

El índice de calidad del agua (ICA) propuesto por Dinius (1987) ha sido utilizado por varios autores (Mestre, 2002; López-Hernández *et al.*, 2007; Sedeño-Díaz y López-López, 2007, Trujillo-Jiménez *et al.*, 2011) para indicar el grado de impacto antropogénico que presenta el agua dentro de un sistema. Así mismo, este índice también es una herramienta fácil de interpretar para evaluar la calidad del agua. Los resultados obtenidos en este estudio indicaron que la calidad del agua mostró una mínima variación durante todo el periodo de estudio, registrándose valores dentro del rango de 51-80 de acuerdo con el ICA lo que lo coloca en una calidad de agua regular. Díaz *et al.*, (2006), menciona que los ecosistemas acuáticos se pueden ver sujetos a variaciones en la calidad de manera temporal y espacial, debido a la influencia de factores internos y externos.

Trujillo-Jiménez *et al.* (2011) reportan que en el río Champotón, Campeche exhibió variabilidad espacial y estacional del ICA, ya el valor más bajo se registró en julio en el sitio San Antonio del Río, debido a la falta de instalaciones sanitarias en este sitio donde la defecación se lleva a cabo al aire libre y los materiales fecales son arrastrados por la escorrentía durante la temporada de lluvias, aumentando el número de coliformes y disminuyendo e ICA. Además, el río fluye a través de una región en la que predominan los sustratos calcáreos; su agua es característicamente dura, con un alto contenido de carbonato de calcio que también disminuye los puntajes del ICA, particularmente durante la estación de estiaje y cuando los niveles de agua son bajos, concluyendo que aunque los puntajes del ICA indicaron que el río Champotón tenía una calidad de agua aceptable, su agua no es apta para su uso en el sistema público de suministro de agua, es marginalmente apta para peces sensibles y no requiere tratamiento para la mayoría de los cultivos o la industria normal.

Los valores registrados no solo indican la calidad en la que se encuentra el agua, sino que también nos permitieron saber el uso potencial que puede recibir esta. Debido que la localidad Dos Bocas registró un valor promedio de 73.71 en el ICA, tomando en cuenta los criterios ecológicos, nos indica que dentro del uso agrícola el agua es apta para cultivos que requieran de una alta calidad, para el uso de pesca y vida acuática,

estos valores indicaron que especies sensibles pueden habitar en ese sitio, en cuanto al uso recreativo y tomando en cuenta que en Dos Bocas se lleva a cabo ciertas actividades recreativas, los valores indican que se puede realizar cualquier tipo de deporte acuático con sus ciertas medidas preventivas.

En cuanto al resto de las localidades registraron valores que están dentro del rango de criterio de 51-70, indicando que el agua en uso agrícola es adecuada para cualquier tipo de cultivo, sin embargo, para el uso de pesca y vida acuática, señala que el consumo de peces podría provocar riesgo en la salud, en cuanto al uso recreativo, se indica que el contacto con el agua podría provocar alguna reacción corporal, o alguna infección estomacal en caso de ingesta. Los valores obtenidos son similares a los reportados por Pita (2018), quien realizó estudios de calidad del agua en el mismo sistema para las localidades Dos Bocas, Huajintlán y Amacuzac, registrando que los tres sitios presentaban agua que requiere de tratamiento para uso humano, mientras que para los peces en Dos Bocas es aceptable, en tanto que para Huajintlán y Amacuzac limita la vida para especies sensibles.

Este tipo de información respecto al uso potencial de acuerdo con el ICA también fue reportado por Amado *et al.* (2006) en la evaluación de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México. Los resultados obtenidos indicaron que la calidad del agua para todos los usos potenciales se clasificó como calidad media, ya que obtuvieron un valor de ICA entre 50-68, esto en el 29% de los sitios estudiados, indicando que estos sitios requieren de tratamiento para abastecimiento público, no recomendable para uso recreativo, afectación para especies sensibles, apta para cualquier tipo de cultivo.

## **7.6. Estructura íctica**

Se han realizado estudios en relación con la variación de la riqueza y diversidad de las comunidades ícticas a lo largo de distintos cursos de agua. Indicando que la estructura de las comunidades de estas va cambiando a lo largo un gradiente longitudinal,

observándose un incremento en ambos factores a medida que se va descendiendo, como consecuencia de un incremento en la diversidad de hábitats (Araujo, 1996; Gorman y Karr, 1978).

La estructura de la comunidad íctica del río Amacuzac ha variado a lo largo de los años, dado que Trujillo-Jiménez *et al.* (2010), reportaron un total de 15 especies, mientras que Mejía-Mojica *et al.* (2012) enlistaron 16 especies, registrándose que ambos estudios reportan 13 especies en común, mientras que en el presente estudio se colectó un total de 20 especies, registrándose como nuevos registros para este ecosistema cuatro especies introducidas (*Cyprinus carpio*, *Thorichtys maculipinnis*, *Tilapia zilli* e *Ictalurus punctatus*). Se pudo observar que la ictiofauna del río Amacuzac se ha ido incrementando, pero desafortunadamente se debe a la introducción y establecimiento de especies no nativas que provienen de las diferentes granjas de cultivo de peces de ornato.

En este trabajo la riqueza y diversidad mostraron diferencias a medida que el río iba descendiendo, registrándose una mayor riqueza de especies en las localidades de la parte baja (El Estudiante, Chisco y Las huertas) 15 especies por localidad, sin embargo, el análisis de diversidad mostró que a pesar de que los tres sitios registraron el mismo número de especies, fue la localidad Las Huertas la que mostró una mayor riqueza específica ( $2.74D_{mg}$ ) recordando que la diversidad es la expresión de dos componentes (el número de especies presentes y la abundancia de cada una) por lo que la localidad de las Huertas registro una equitatividad en la abundancia de las especies registradas, indicando que presenta una mayor riqueza específica.

Oberdorff y Hughes (1992), Araujo (1996), Pease *et al.* (2012) mencionan que los sistemas de montaña suelen ser más dinámicos, presentando baja heterogeneidad espacial, pocos microhábitats con baja velocidad, mientras que los ecosistemas de zonas bajas son más estables, con una mayor cantidad de pozas de baja velocidad, más complejidad estructural, permitiendo la formación de microhábitats que permiten a su vez una mayor riqueza de especies. De acuerdo con el índice de Pielou, y las

especies registradas, se observó que en las localidades Dos Bocas y Chisco, la especie *P. gráciles* y *P. bimaculatus* fueron las especies que mostraron una mayor abundancia, corroborándose con los valores cercanos a 0 que se obtuvieron con este índice. Si bien la dispersión y disponibilidad de las especies colonizadoras en alguna localidad determinada, se debe a sus rasgos característicos, así como a la disponibilidad de recursos requeridos por esta (Allan y Castillo, 2007).

Otros estudios (Méndez, 2013., Gorman y Karr, 1978) han demostrado que no solo el hábitat físico influye en la estructuración de las comunidades ícticas, ya que otros factores como la disponibilidad de alimento, la calidad del agua y la interacción con otros taxones con los que compiten por alimento o refugio, pueden estar regulando las poblaciones.

El análisis mensual mostró que los cuatro meses de estudio estuvieron bien representados en cuanto al origen de las especies, registrándose especies endémicas, nativas e introducidas en cada mes, siendo diciembre el cual corresponde a la temporada de estiaje frío el que registró un mayor número de especies (16 especies) seguida del mes de abril correspondientes a la temporada de estiaje cálido. Siendo las especies introducidas las que obtuvieron el mayor número de registros en los cuatro meses, con un total de 14 especies, de las cuales *P. gracilis* y *P. bimaculatus* fueron las que mostraron mayor abundancia en la mayoría de las localidades a lo largo del periodo de muestro, estas especies son muy tolerantes a los cambios en el ambiente y su ciclo reproductivo se da a lo largo de todo el año, siendo mayor su reproducción en temporada de estiaje (Contreras-MacBeath y Ramírez, 1996 y Gómez-Márquez *et al.*, 2008) coincidiendo con las abundancias altas registradas en los meses de febrero y abril. Ambas especies por igual registraron un índice de valor de importancia alto, debido a que dichas especies presentaron una alta dominancia y se distribuyeron a lo largo del río.

Trujillo-Jiménez *et al.* (2010), en su estudio realizado en el río Amacuzac, reportan que Según los resultados del IVI, *P. gracilis* y *A. aeneus* (ahora *mexicanus*)

fueron las especies más comunes y abundantes en el río, mientras que *X. helleri*, *A. rivulatus* y *P. reticulata* fueron las especies menos comunes y con poca abundancia. Así mismo, Mejía-Mojica *et al.* (2012) en el mismo ecosistema, reportan a *P. gracilis* con altas abundancias.

Por otra parte, de las cuatro especies nativas reportadas en el presente estudio, *N. moralesis* y *P. maylandi* registraron abundancias considerables, siendo *N. moralesis* la que mostró abundancias altas en la localidad de cabecera Dos Bocas, si bien esto coincide con lo reportado por Miller (1986); Martínez (1999) y Schönhuth y Doadrio (2003), quienes reportan que esta especie suele habitar en las partes altas de las cuencas.

Cabe mencionar que las dos especies endémicas registradas, se colectaron en distinto periodo estacional, si bien *I. balsanus* se presentó únicamente en la temporada de estiaje frío (noviembre y diciembre) meses que corresponden a su temporada reproductiva (Contreras-MacBeath, 2016), mientras que *I. whitei* en la temporada de estiaje frío (febrero y noviembre) ambas con abundancias bajas. Trujillo-Jiménez *et al.* (2010) reportaron que *I. whitei* fue capturada en un periodo de once meses, a diferencia del presente estudio, así mismo, estos autores mencionan que *I. balsanus* se registró en seis meses del estudio, abarcando las temporadas de estiaje y lluvia, sin embargo, en el presente estudio sólo fue registrada en dos meses correspondientes a la temporada de estiaje frío, lo que las hace especies susceptibles, Efford *et al.* (1997) menciona que las especies que producen poca descendencia son más susceptibles a la extinción ya que tienen una limitada capacidad de dispersión y colonización, si bien *I. whitei* es una especie con reproducción vivípara lo que representa un bajo número de crías, *I. balsanus* es una especie sensible, la cual requiere de una buena oxigenación en el agua, por lo que coincide en su avistamiento en la cabecera del río donde el agua corre con fuerza provocando mayor turbulencia y a su vez mayor oxigenación, otra localidad en la que fue registrada fue El Estudiante, este sitio presenta sustrato rocoso y tres tipos de velocidad, permitiendo que haya intercambio del aire de la atmosfera con el oxígeno disuelto del agua, que a su vez es mayor por la vegetación que se

encuentran en los márgenes del río, de acuerdo con Koeck (2019) el género *Ilyodon*, presenta una tendencia poblacional decreciente, siendo la agricultura y sus efluentes, el contacto con aguas residuales domésticas y urbanas, lo que pone en riesgo su existencia. Esta especie se encontró en sitios con una calidad de hábitat marginal y subóptimo y de acuerdo con Domínguez-Domínguez *et al.* (2008), el género *Ilyodon* suelen habitar en áreas perturbadas.

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que el uso de suelo circundante al curso del río Amacuzac ejerce un efecto considerable en las características de calidad del agua y hábitat, así como en la composición de las comunidades de peces. Las especies ícticas introducidas son las más representativas dentro del sistema, siendo la familia Cichlidae la mejor representada en cuestión de número de especies. Las especies endémicas, consideradas especies sensibles (*Ilyodon whitei* e *Ictalurus balsanus*) registraron una baja abundancia y corta distribución. Las especies introducidas como *P. gracilis* y *P. bimaculatus*, fueron las especies con mayor frecuencia y abundancia a lo largo del río Amacuzac, fueron especies permanentes en todos los sitios y en todos los meses de estudio.

## 8. Conclusiones

Con base en el estudio del cambio del uso del suelo, se registró que en el periodo de estudio de 19 años transcurridos entre los años 1997 a 2016 hubo un incremento de seis tipos de uso de suelo, de los cuales la agricultura temporal anual y semipermanente, son los tipos de uso de suelo con una mayor tasa de crecimiento anual. Mientras que la Selva baja caducifolia y el bosque de encino son las vegetaciones que se han visto mayormente afectadas por el cambio de uso de suelo, esto por el incremento del suelo agrícola. Las localidades de la parte media (Amacuzac, El Estudiante y Chisco) de la subcuenca del río Amacuzac son las que se están viendo mayormente modificadas por las actividades agrícolas y el crecimiento de zona urbana.

La evaluación de calidad de hábitat en los distintos sitios de muestreo vario, siendo las localidades Huajintlán, Amacuzac y Las Huertas, los sitios con mayor impacto, debido a que muestran una relación de la alteración paisajística con respecto al incremento de las actividades humanas, así como a modificaciones dentro y fuera del cauce.

El tipo de textura predominante a lo largo del río Amacuzac es la arena, ya que esta está presente en los sedimentos de las localidades desde la naciente (Dos Bocas) en porcentajes altos, hasta la parte baja (Las Huertas). El escaseo de materia orgánica dentro del sistema, tiene una relación con la perdida de vegetación natural y el incremento de zona agrícola. La erosión de los márgenes del rio se ven provocadas por los cambios dentro y fuera del sistema por las actividades antropogénicas.

Con base en la evaluación de la calidad del agua, las localidades Huajintlan y Las Huertas fueron las que mostraron una menor calidad.

Los resultados del análisis biológico del agua, con base en los coliformes totales y fecales, indican contaminación microbiológica en todo el río Amacuzac, puesto que todos los sitios de estudio registraron valores por arriba del límite permisible.

La comunidad ictica a lo largo del río Amacuzac, estuvo constituida por 20 especies organizadas en cinco órdenes y siete familias. La familia Cichlidae, fue la que tuvo mayor riqueza de especies (siete), seguida de la familia Poeciliidae (cinco especies).

De las 20 especies colectadas, dos son endémicas (*Ilyodon whitei* e *Ictalurus balsanus*), lo que corresponde al 10%; cuatro nativas (*Astyanas mexicanus*, *Poecilia maylandi*, *Notropis moralesi* y *Amphilophus istlanum*) que representan el 20% y 14 especies son introducidas representando el máximo porcentaje (70%).

Las localidades con mayor riqueza específica fueron El Estudiante, Chisco y Las Huertas (15 especies cada). Seis especies estuvieron distribuidas a lo largo de todos los sitios de estudio, cuatro introducidas (*P. bimaculatus*, *P. gracilis*, *T. zilli* y *A. nigrofasciata*) y dos nativas (*A. mexicanus* y *P. maylandi*). Las dos especies endémicas sólo se registraron en una o dos localidades con abundancias menores a 0.5%.

La comunidad íctica respondió a la alteración en la calidad del agua y el hábitat y también a otros deterioros causados por la agricultura y las zonas urbanas, sin embargo, se necesita más información para establecer métricas para un índice biológico para evaluar la condición ecológica del río.

## 9. Literatura Citada:

Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. y Prat, N. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. Asociación Ibérica de Limnología, Madrid, España. *Limnetica*, 28 (1): 35-64.

Alcocer, R. M. 2016. Diversidad y ecología de los insectos acuáticos de Arroyo Agua Salada, Morelos-Guerrero, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 64 p.

Alexander, R. B., Smith, R. A., Schwarz, G. E., Boyer, E. W., Nolan, J. V. and Brakebill, J. W. 2008. Differences in phosphorus and nitrogen delivery to the Gulf of Mexico from the Mississippi. *Environmental science and Technology*. (42):822-830.

Allan, J. D. 1995. *Stream Ecology: Structure and function of running waters*. Dordrecht, Neth: Kluwer. 388 p.

Allan J. D. 2004. Landscapes and Riverscapes: The influence of Land use on Stream Ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 35: 257-84.

Allan, J. D. and Castillo, M. M. 2007 *Stream ecology: Structure and Function of Running Waters*. 2nd Edition, Chapman and Hall, New York. 129 p.

Amado, A. J., Rubiños, E. P., Gavi, F. R., Alarcón, J. J. C., Hernández, E. A., Ramírez, C. A., Mejía, E. S., Pedrero, F. S., Nicolas, E. N. y Salazar, E. S. 2006. Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnostico y Predicción. *Revista Internacional de Botánica*. 75:71-83.

Araujo, F. G. 1996. Composition and structure of the fish community in the middle and lower Paraiba do Sul river, Rio de Janeiro. Brasil. Brazilian Journal of Biology. 56:111-126.

Armbruster, J. W. and Page, L. M. 2006. Redescription of *Pterygoplichthys punctatus* and description of a new species of *Pterygoplichthys* (Siluriformes: Loricariidae). Neotropical Ichthyology. 4:401-409.

APHA, AWWA y WPCF. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd edition. American Public Health Association, Washington.USA.1108 p.

Barbour, M. T and Stribling, J. B. 1994. A technique for assessing stream habitat structure. Conference proceedings, riparian ecosystems in the humid U.S; functions, values and management. National Association of Conservation Districts, Washington, D.C. 156-178.

Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D. and Stribiling, J. B. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable Rivers, peryphyton, benthic macroinvertebrates and fish. 2<sup>nd</sup> edn. EPA 841-B41-99-002. U. S Enviromental Protection Agency. Office of Water. Washington, D. C. <https://www.epa.gov/aboutepa/about-office-water#wetlands>.

Bai, J., Ouyang, H., Xiao, R., Gao, J., Gao, H., Cui, B. and Huang, L. 2010. Spatial Variability of soil carbon, nitrogen, and phosphorus content and storage in an alpine wetland in the Qinghai-Tibet Plateau, China. Australian Journal of Soil Research. 48(8): 730-736.

Bistoni, M. A., Hued, A., Videla, M. y Sagretti, L. 1999. Efectos de la calidad del agua sobre las comunidades ícticas de la región central de Argentina. Revista Chilena de Historia Natural. 72:325-335.

Black, C. A. 1965. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Sponsored jointly by the American Society of Agronomy and American Society for Testing and Materials. Number 9 in the Series Agronomy. 770 p.

Buytaert, W., Deckers, J. and Wyseure, G. 2006. Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use. *Catena*. 70:143-154.

Camarero, E. T y Vicente R. J. 2010. Arroyos de cabecera: agricultura y calidad de hábitat. La Capiña de Villanueva del Pardillo (Madrid). Observatorio Medioambiental. 13:87-108.

Cambray, J. and Swartz, E. 2007. *Oreochromis mossambicus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2007: e.T63338A12659743. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63338A12659743.en>. Consultado el 14 de febrero 2020.

Castillo, M. M., Morales, H., Valencia, E., Morales, J. J. and Cruz-Motta, J. J. 2013. The effects of human land use on flow regime and water chemistry of headwater streams in the highlands of Chiapas. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 407:1-17.

Ceccon, E. 2003. Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias*. 72:46-53.

Chapman, D. 1996. Water Quality Assessments- A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring-Second Edition.

Chávez, J. M., de la Paz, R. M., Krishna, S., Pagulaya, R. C. and Carandag, J. R. 2006. New Philippine record of south american sailfin catfishes (Pisces: Loricariidae). *Zootaxa*. 1109:57-68.

CITES, UNEP-WCMC, 2017. The Checklist of CITES Species Website. Appendices I, II and III valid from 04 April 2017. CITES Secretariat, Geneva, Switzerland. Compiled by UNEP-WCMC, Cambridge, UK. <https://www.cites.org/eng/app/appendices.php> [Accessed 01/08/2017].

CONABIO y UAEM. 2004. La diversidad Biológica en Morelos: Estudio del Estado. Contreras-MacBeath, T., J. C. Boyás, F. Jaramillo (editores). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 155 p.

Contreras-MacBeath, T. 2016. *Ictalurus balsanus* (Jordan y Snyder, 1899). Bagre del Balsas, Balsas catfish. Pp: 202-204. En: Ceballos, G., Díaz-Pardo E., Martínez-Esteves L y Espinosa-Pérez H. (coords) Los peces dulceacuícolas en peligro de extinción. Fondo de Cultura Económica.

Contreras-MacBeath, T. and Ramírez, E. H. 1996. Some Aspects of the Reproductive Strategy of *Poeciliopsis gracilis* (Osteichthyes; Poeciliidae) in the Cuautla River, Morelos, Mexico. *Journal of Freshwater Ecology*. 11(3):327-338.

Contreras-MacBeath, T., Mejía-Mojica, H. and Carrillo R. W. 1998. Negative impact on the aquatic ecosystems of the state of Morelos, Mexico from introduced aquarium and other commercial fish. *Aquatic Conservation*. 2:67–78.

Contreras-MacBeath, T., Gaspar-Dillanes, M. T., Huidobro-Campos, L. y Mejía-Mojica, H. 2014. Peces invasores en el centro de México. Pp: 413-424. En Mendoza, R. y Koleff, P. (coords.), *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Cuevas, M. L., Garrido, A., Pérez, D. J. L y Lura, G. D. 2010. Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación. *Natural*. 96-103.

Daniels, A. and Maiz-Tome, L. 2019. *Poeciliopsis gracilis*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2019: e.T191759A126834362. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T191759A126834362.en>. Consultado el 14 de febrero 2020.

Díaz, R. S., Aguirre, A. L. y Cano E. Q. 2006. Evaluación ecológica de las comunidades de peces en dos sistemas lagunares estuarinos de Chiapas, México. *Hidrobiológica*. 16(2):197-210.

Dinius, S. H. 1987. Design of an index of water quality. *Water Resource Bulletin*. 23:833-843.

Dorado, O., Maldonado, B., Arias, D. M., Sorani, V., Ramírez, R., Leyva, E. y Valenzuela, D. 2005. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. CONANP-SEMARNAT. 202 p.

Domínguez-Domínguez, O., Zambrano, L., Escalera-Vázquez, L. H., Pérez-Rodríguez, R. y Pérez-Ponce de León, G. 2008. Cambio en la distribución de goodeidos (Osteichthyses: Cyprinodontiformes: Goodeidae) en cuencas hidrológicas del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 79:501-512.

Domínguez, S. J. M., Román, A. D. G., Prieto, F. G. y Acevedo, O. S. 2012. Sistema de notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista Mexicana de Ciencia Agrícola*. Vol. 3. Núm.1.

Efford, I. E., Macías-García, C. y Williams, J. D. 1997. Facing the challenges of invasive alien species in North America. *Global Biodiversity*. 7:25-30.

Ehrlich, R. P. and Ehrlich, A. H. 1992. The Value of Biodiversity. *Ambio*. 21:219-226.

Escandón-Calderón, J., Ordóñez-Díaz, J., Nieto de Pascual-Pola, C. y Ordóñez-Díaz, M. 2018. Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Citado 20 ago. 2020. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/135>.

Eufracio-Torres, A. E., Wehncke, V. E., López-Medellín, X. and Maldonado-Almanza, B. 2016. Fifty years of environmental changes of the Amacuzac riparian ecosystem: a social perceptions and historical ecology approach. *Ethnobiology and Conservation*. 5(8):1-35.

Fernández, D., Barquín, J. and Raven, P. J. 2011. A review of river habitat characterization methods: indices vs. characterization protocols. *Limnetica*. 30(2):217-234.

Figuroa-Jáuregui, M. L., Ibáñez-Castillo, L. A. y Arteaga-Ramírez, R. 2011. Cambio de uso de suelo en la Cuenca de San Cristobal de las Casas, México. *Agrociencia*. 45:531-544.

Fontalvo, J. F. A. y Tamaris, T. C. E. 2018. Calidad del agua de la parte baja del río Córdoba (Magdalena, Colombia), Usando el ICA-NSF. *Intropica*.13(2):101-111.

Freeman, M. C., Pringle, C. M. and Goodman, K. J. 2007. Hydrologic connectivity and the contribution of stream headwater to ecological integrity at regional scales. *Journal of the American Water Resources Association*. 43(1):5-14.

García, C. L. C. y Schlatter, J. E. V. 2012. Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileña de Ciencias Agrárias*. 7(3):456-464.

García, C. L. C. y Vollmann, J. 2012. Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileña Ciências Agrárias*. 7(3):456-464.

Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B., Salgado-Ugarte, I. H., Sánchez-Herrera, A. K. and Sastré-Baez, L. 2008. Reproduction of the fish *Poeciliopsis gracilis* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in Coatetelco, a tropical shallow lake in Mexico. *Revista de Biología Tropical*. 56 (4):1801-1812.

Gómez, B. M. A. 2011. Cambios históricos en la composición de la comunidad íctica del río Santiago, México. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. 153 p.

Gómez, G. J. C. 2013. Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos. Centro Agropecuario “La Granja” Espinal – Tolima. Sena – Regional, Colombia. 100 p.

Gorman, T. O. and Karr, J. R. 1978. Habitat structure and stream fish communities. *Ecology*. 59(3):507-515.

González, T. R., M. y García, J. L. D. 2001. Restauración de ríos y riberas. Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 319 p.

Granado-Lorencio, C. 1996. Ecología de Peces. Servicio de Publicaciones, Universidad de Sevilla, España. 361 p.

Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M. A. y López-Ríos, G. F. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 12(1):55-69.

Grenouillet, G., Brosse, S., Tudeque, L., Lek, S., Baraille, Y. and Loot, G. 2008. Concordance among stream assemblage and spatial autocorrelation along a fragmented gradient. *Diversity and Distribution*. 14:592-603.

Hernández, S, R., Fernández, C. C y Baptista, L. P. 2010. Metodología de la investigación. Mcgraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. 656 p.

[https://www.esup.edu.pe/descargas/dep\\_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf](https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf). Consultado en diciembre 2019.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1997. Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie I (continuo nacional) Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/usv250kcs1agw.xml? httpcache=yes& xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl& indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/usv250kcs1agw.xml? httpcache=yes& xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl& indent=no)

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2016. Uso del suelo y vegetación, escala 1:25000, serie VI (continuo nacional). México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2017. Topografía. (base de datos en línea). <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/default.aspx>.

Jackson, M. L. 1976. Análisis químico de suelos. 3ª. Ed. Omega. Barcelona, España. 662 p.

Jarvinen, A. W., Tanner, D. K. and Kline, E. R. 1988. Toxicity of chlorpyrifos, endrin, or fenvalerate to fathead minnows following episodic or continuous exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 15(1):78-95.

Jelks, H. L., Walsh, S. J., Burkhead, N. M., Contreras-Balderas, S., Díaz-Pardo, E., Hendrickson, D. A., Lyons, J., Mandrak, N. E., McCormick, F., Nelson, J. S., Platania, S. P., Porter, B. A., Renaud, C. B., Schmitter-Soto, J. J., Taylor, E. B. and Warren, M. L. Jr. 2008. Conservation status of imperiled North American freshwater and diadromous fishes. *Fisheries*. 33(8):372–407.

Kareiva, P., Watts, S., McDonald, R. and Boucher, T. 2007. Domesticated Nature: Shaping Landscapes and Ecosystems for Human Welfare. *Reviews*. 316:1866-1868.

Karr, J. R. and Schloseer, I. J. 1978. Water resource and the land-water interface. *Science*. 201(21):229-234.

Karr, J. R. and Chu, E. W. 2000. Sustaining living rivers. *Hydrobiologia*, 422-423:1-14.

Klein, V. A y Libardi, P. L. 2002. Distribución de densidad y diámetro de poro de un oxisol rojo bajo diferentes sistemas de uso y manejo. *Revista Brasileña de Ciencia del suelo*. 26:857-867.

Krebs, J. C. 1999. *Ecological methodology*. Second Edition. Benjamin/Cummings. 660 p.

Kaufmann, P. R. 1993. Physical Habitat. pp. 59-69 *In*: Hughes, R. M. (ed.). *Stream Indicator and Design Workshop*. EPA/600/R-93/138. U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, Oregon.

Koeck, M. 2019. *Ilyodon whitei*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*: e.T132521900A498826. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T132521900A498826.en>. Consultado el 14 de febrero 2020.

Kottelat, M. 1996. *Cyprinus carpio (River Danube subpopulation)*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 1996: e.T6180A12556019. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1996.RLTS.T6180A12556019.en> Consultado el 14 de febrero 2020.

Lammert, M. and Allan, J. D. 1999. Assessing Biotic Integrity of Streams: Effects of Scale in Measuring the Influence of Land Use/Cover and Habitat Structure on Fish and Macroinvertebrates. *Environmental Management*. 23(2):257-270.

Lenat, D. R. 1984. Agriculture and stream water quality a biological evaluation of erosion control practices. *Journal of Environmental Management*. 8(4):333-43.

Li, S., Gu, S., Liu, W., Han, H. and Zhang, Q. 2008. Water quality in relation land use and land cover in the upper Han River Basin, China. *Catena*. 75(2):216-222.

Linke, S., Turak, E. and Nel, J. 2011. Freshwater conservation planning: the case for systematic approaches. *Freshwater Biology*. 56:6-20.

López-Hernández, M., Ramos-Espinosa, M. G. y Carranza-Fraser, J. 2007. Análisis multimétrico para evaluar la contaminación en el río Lerma y lago de Chapala, México. *Hidrobiológica*. 17:17-30.

Márquez-Linares, M. A., Treviño, E. J. G. y Jurado, E. 2005. Reemplazo de áreas arboledas por chaparrales y comunidades herbáceas en el periodo 1970-2000 en una microcuenca de Durango, México. *Investigaciones Geográficas*. 58:54-65.

Martínez, R. E. 1999. Taxonomía y zoogeografía de la ictiofauna dulceacuícola del estado de Oaxaca, México. Tesis de doctorado, Universidad de Barcelona, Barcelona, España. 122 p.

Matthews, J. W. 1990. Ecology and assessment of warm water stream: workshop Synopsis. *Biological Report*. 90:15-17.

Matthews, J. W. and Robison, H. W. 1998. Influence of drainage connectivity, drainage area, and regional species richness on fishes in the interior highlands of Arkansas. *American Midland Naturalist*. 139:1-19.

Meek, S. E. 1904. The freshwater fishes of Mexico north of the isthmus of Tehuantepec. Chicago. *Field Columbian Museum*. 228 p.

Mejía-Mojica, H., Rodríguez-Omero, F. J. y Díaz-Pardo, E. 2012. Recurrencia histórica de peces invasores en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, México. *Revista de Biología Tropical*. 60(2):669-681.

Mena, M., Bustamante, A. G., Vargas, S. L., Olvera, J. I. H y Méndez, J. A. E. 2017. Evaluación de la condición ecológica del río Zahuapan. *Revista internacional de Contaminación Ambiental*. 33(1):7-19.

Méndez, P. O. L. 2013. Influencia del hábitat físico sobre la ictiofauna -cuenca baja río Dagua: Caso de la quebrada Jesús. (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 114 p.

Mendoza, A. R., Escalera, G. C., Contreras-Balderas, S., Koleff, O. P., Ramírez, M. C., Álvarez, T. P., Arroyo, D. M. and Orbe M. A. 2009. Invasion of armored catfish in infiernillo reservoir, Michoacán-Guerrero, Mexico, socio-economic impact analysis: a tale of two invaders. Pp: 51–5. *In*: Herrmann, H. and Schmidt, K (Coords). Trinational risk assessment guidelines for aquatic alien invasive species. Test cases for the Snakeheads (Channidae) and Armored Catfishes (Loricariidae) in North American Inland Waters Commission for Environmental Cooperation.

Mendoza, C. M., Quevedo, N. A., Bravo, V. A, Flores, M. H., De La Isla de Bauer, M. L., Gavi, R. F. y Zamora, M. B. P. 2014. Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva ley general de aguas de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 30(4):429-436.

Mestre, R. J. E., 2002. Integrated approach to River Basin management: Lerma-Chapala case study – attribution and experiences in water management in Mexico. *Water International*. 22(3):140–152.

Mezquitillo-Avelar, J. Bustos-Zagal, M. G. Castro-Franco, R. Argote-Cortes, A. y Trujillo-Jiménez, P. 2016. Situación actual de la ictiofauna del río Amacuzac, Morelos, México. IV Congreso de biodiversidad y ecología tropical, Habana, Cuba. 16 p.

McCune, B. and Grace, J. B. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. MJM Software, Gleneden Beach, Oregon. 304 p.

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis. World Resources Institute, Washington, D.C.

Miller, R. R. 1986. Composition and derivation of the freshwater fish fauna of Mexico. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN.* 3:121-153.

Miller, R. R., Minckley, W. L. and Norris, S. M. 2005. Freshwater fishes of México. University of Michigan, Museum of Zoology, Chicago. 490 p.

Minshall, G. W., Cummins, K. W., Petersen, R. C., Cushing, C. E., Bruns, D. A., Sedell, J. R. and Vannote, R. L. 1985. Developments in stream ecosystem theory. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 42(5):1045-1055.

Moilanen, A., Leathwick, J. and Elith, J. 2008. A method for spatial freshwater conservation prioritization. *Freshwater Biology.* 53:577-592.

Moreno-Jiménez, V., Castillo-Acosta, O., Gama-Campillo, L., Zavala-Cruz, J. y Ortiz-Pérez, M. A. 2017. Relación de vegetación ribereña y propiedades del suelo en un afluente del río Tacotalpa, Tabasco, México. *Maderas y Bosques.* 23(1):91-109.

Murray, R. M., Orozco, M. G., Hernández, A., Lemus, C y Nájera, O. 2014. El Sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo. *Avances en Investigación Agropecuaria.* 18(1):23-31.

Muhar, S., Shwarz, M., Schmutz, S y Jungwirth, M. 2000. Identificación de ríos con alta y buena calidad de hábitat: enfoque metodológico y aplicaciones en Australia. *Hydrobiologia.* 422/423:343-358.

NatureServe. 2013. *Ictalurus punctatus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013: e.T202680A18236665. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T202680A18236665.en>. Consultado el 14 de febrero 2020.

Naylor, R. L., Goldberg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, K. N., Beveridge, M. C. M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. and Troell, M. 2000. Effect of Aquaculture on World Fish Supplies. *Nature*. 405:1017-1024.

Naiman, R. J., Décamps, H. and McClain, M. E. 2005. *Riparia: Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities*. Elsevier Academic Press. 448 p.

Ngoye, E. and Machiwa, J. F. 2004. The influence of land-use patterns in the Ruvu River watershed on water quality in the river system. *Physics and Chemistry of the Earth A, B, C*. 29(15-18):1161-1166.

NOM-001-SEMARNAT-1996. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/60197.pdf>.

NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental, Agua para uso y consume humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

[https://pdfs.semanticscholar.org/1275/c2ad256b25ef1c38aa0861909165e5c99a53.pdf?\\_ga=2.254810184.1338112722.1599661356-867434356.1599661356](https://pdfs.semanticscholar.org/1275/c2ad256b25ef1c38aa0861909165e5c99a53.pdf?_ga=2.254810184.1338112722.1599661356-867434356.1599661356).

Norberg-King, T. J. 1989. An evaluation of the fathead minnow seven-day subchronic test for estimating chronic toxicity. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 8:1075-1089.

Oberdorff, T. and Hughes, R. M. 1992. Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France. *Hydrobiologia*. 228:117-130.

Pacheco-Díaz, R. I. 2011. Efectos del paisaje sobre un índice biótico de integridad en el río Hondo. Tesis de maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural, El Colegio de la Frontera Sur. Quintana Roo, México. 87 p.

Pacheco-Díaz, R. I., Schmitter-Soto, J. J., Schmook, B., Islebe, G. A. and Weissenberger, H. 2017. Land use and biotic integrity in shallow streams of the Hondo River basin; Yucatán Peninsula, México. *Revista de Biología Tropical*. 65(4):1448-1458.

Palacios, C. H., Ramírez, D. J. F. y Madrigal, U. D. 2008. Uso potencial del suelo del Parque Nacional Grutas de Cacahuamilpa. *Investigación Ambiental*. 1(2):168-178.

Palmer-Newton, A. 2019. *Poecilia maylandi*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2019: e.T191749A2002406. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T191749A2002406.en>. Consultado el 14 de febrero 2020.

Pease, A., González-Díaz, A., Rodiles-Hernández, R. and Winemiller, K. O. 2012. Functional diversity and trait-environment relationship of stream fish assemblages in a large tropical catchment. *Freshwater Biological*. 57:1060-1075.

Pérez-Osorio, G., Arriola-Morales, J., García-Lucero, T., Saldaña-Blanco, M. L y Mendoza-Hernández, J. C. 2016. Evaluación de la calidad del agua de cuatro jagüeyes del parque estatal "Flor del bosque", Puebla, México. *Ra Ximhal*. 12(4):153-168.

Pinto, B., Araujo, F. and Hughes, R. 2006. Effects of landscape and riparian condition on a fish index of biotic integrity in a large southeastern Brazil river. *Hydrobiologia*. 556:69-83.

Pita, A. M. E. 2018. Evaluación del estrés oxidativo y actividad de la acetilcolinesterasa en *Astyanax mexicanus* (Characidae) y *Notropis boucardi* (Cyprinidae) en el río Amacuzac, Morelos. Tesis de Maestría, Escuela nacional de Ciencias Biológicas Instituto Politécnico Nacional. México. 102 p.

Ramírez, C. R. 1997. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Santafé de Bogotá. CONVENIO FENALCE - SENA – SAC. 24 p.

Ranganathan, J., Daniels, R. J. R., Chandran, M. D. S., Ehrlich, P. R. and Daily, G. C. 2008. Sustaining biodiversity in ancient tropical countryside. PNAS. 105(46):17852–17854.

Rapport, D. J., Costanza, R. and McMichael, A. J. 1998. Assessing ecosystem health. Trends in Ecology and Evolution. 13(10):397-402.

Rao, J. V., Ghousia, B., Pallela, R., Usman, P. K. and Rao, N. 2005. Changes in behavior and brain acetylcholinesterase activity in mosquito fish, *Gambusia affinis* in response to the sub-lethal exposure to Chlorpyrifos. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2(3):478-483.

Ruíz, E., Echeandía, A. y Romero, F. 1994. Relaciones entre agua y sedimento en ríos de origen torrencial. Limnética. 10(1):101-107.

Salamanca, J. A. y Sadeghian, S. K. 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. Cenicafé. 56(4):381-397.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2011. Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Región Hidrológica número 18 Balsas. Diario Oficial de la Federación. 16-60 pp.

Sedeño-Díaz, J. E., López-López, E. 2007. Water quality in the Río Lerma Mexico: an overview of the last quarter of the twentieth century. Water Resourcer Management. 21:1797–1812.

Segnini, S. y Chacón, M. M. 2005. Caracterización fisicoquímica del hábitat interno y ribereño de ríos andinos en la Cordillera de Mérida, Venezuela. *Ecotropicos*. 18(1):38-61.

Sliva, L. and Williams, D. D. 2001. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact in river water quality. *Water Research*. 35(14):3462-3472.

Schönhuth, S, y Doadrio, I. 2003. Phylogenetic relationships of Mexican minnows of the genus *Notropis* (Actinopterygii, Cyprinidae). *Biological Journal of the Linnean Society*. 80:323-337.

Stabridis, A. O., Guevara, S. A., Mendoza, A. R., Ramírez, M. C., Escalera, G. C. and Koleff, O. P. 2009. A socioeconomic analysis of the effects from the Loricariidae family in Mexico: the case of the “Adolfo López Mateos” or “Infiernillo” Reservoir. Pp: 61–71. *In*: Herrmann, H. and Schmidt, K. (Coords). Trinational risk assessment guidelines for aquatic alien invasive species. Test cases for the Snakeheads (Channidae) and Armored Catfishes (Loricariidae) in North American Inland Waters Commission for Environmental Cooperation.

Sweeney, B. W., Bott, T. L., Jackson, J. K., Kaplan, L. A., Newbold, J. D, Standley, L. J., Hession, W. C. and Horwitz, R. J. 2004. Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 101(39):14132-14127.

Teixeira de Mello, F. 2007. Efecto del uso del suelo sobre la calidad del agua y las comunidades de peces en sistemas loticos de la cuenca baja del río Santa Lucia (Uruguay). Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad de la República Uruguay. 58 p.

Torrente, R. C. A. 2016. Efectos del uso de suelo sobre ecosistemas fluviales en la cuenca baja del Grijalva. Sureste de México. Tesis de Maestría en Recursos Naturales y Desarrollo Rural, El Colegio de la Frontera Sur, México. 72 p.

Torres, V. F. J. 2009. Desarrollo y Aplicación de un índice de Calidad de Agua para ríos en puerto Rico. Tesis de Maestría, Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez. 110 p.

Tonneijck, F. H., van der Plicht, J., Jansen, B., Verstraten, J. M. and Hooghiemstra, H. 2006. Radiocarbon dating of soil organic matter fractions in andosols in Northern Ecuador. *Radiocarbon*. 48(3):337-353

Toro, M., Robles, S., Avilés, J., Nuño, C., Vivas, S., Bonada, N., Prat, N., Alba-Tercedor, J., Casas, J., Guerrero, C., Jáimez-Cuéllar, P., Moreno, J. L., Moyá, G., Ramon, G., Suárez, M. L., Vidal-Abarca, M. R., Álvarez, M. y Pardo, I. 2002. Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto guadalmed. Características físico-químicas. *Limnetica*. 21(3-4) 63-75.

Trujillo-Jiménez, P., López-López, E., Díaz-Pardo, E. and Camargo, J. A. 2010. Patterns in the distribution of fish assemblages in Río Amacuzac, México: influence of abiotic factors and biotic factors. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 20:457-469.

Trujillo-Jiménez, P., Sedeño-Díaz, J. E., Camargo, J. A. and López-López, E. 2011. Assessing environmental conditions of the Río Champotón (México) using diverse indices and biomarkers in the fish *Astyanax aeneus* (Günther, 1860). *Ecological Indicators*. 11:1636–1646.

Valdez-Lazalde, J. R., Aguirre-Salado, C. A., Pérez-Ángeles, G. 2011. Análisis de los cambios en el uso del suelo en la Cuenca del río Metztlán (México) usando imágenes de satélite: 1985-2007. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17(3):313-324.

VANR. 2004. Vermont stream geomorphic assessment phase 2 handbook. Rapid stream assessment. Vermont Agency of Natural Resources. Montpelier, USA, 83 p.

Vega-Cendejas, M. 2019. *Thorichthys helleri*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2019: e.T192913A2179841. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T192913A2179841.en>. Consultado el 14 de febrero 2020.

Vázquez, D. J. L. 2009. Usos del agua y cambios en su calidad en la Cuenca del río Puyacatengo. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Chapingo. 86 p.

Young, S. T. Y. and Chen, W. 2002. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management*. 66(4):377-393.

Ward, J. V., Tockner, K., Arscott, D. B., and Claret, C. 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology*. 47:517-539.

Xiao, R., Wang, G., Zhang, Q. and Zhang. Z. 2016. Multi-scale analysis of relationship between landscape pattern and urban river water quality in different seasons. *Scientific Reports*. 6:25250:1-10.

Cuernavaca, Mor., 15 de junio de 2020.

**DR. RUBÉN CASTRO FRANCO**  
**COORDINADOR DE LA MAESTRIA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**  
**DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**

**PRESENTE**

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN LA ICTIOFAUNA DEL RÍO AMACUZAC**, que presenta la alumna **KENIA KIRYATAIM BONILLA ROMÁN**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente  
**Por una humanidad culta**  
*Una universidad de excelencia*

**Dr. Alejandro García Flores**  
**Catedrático de posgrado del**  
**Centro de Investigaciones Biológicas**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**ALEJANDRO GARCIA FLORES** | Fecha:2020-07-20 11:53:06 | Firmante

Kgl6dkleECVpuO1J+HneDvpOKI6SYYFHhfB6ZuR8OtmN6yMzDxMLbhyOSnHXXn55O9mTJuXUkAtAJZwA+0dgs5gZe93YXEJgnUvmVG/PN+MKIUnTxHsH2ZqzMOJKDws  
mcFaGTY7eiC658EgUx3AGGRIRFHIIaHoEL6Y12v/nJMgZVTqAwOilcmBf/wLjm8Tkmc35VcCraiOy7nB00lhyv5vzeMTPaE8pbCsGhY6lD7atkTYiVi8Ql+K0ncIwaKsJU19rY+IUp  
mxnkMFO8NUtwOmvU8wZcoBPwNziUzQS2lUBDVzNDnILdaZ59J/32+/MtGeYOrdDIFYLGKYXfyNg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



**bWEsvy**

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/8cEpdOri711qkBwmRlqjVICWTW999sVq>



Cuernavaca, Mor., 15 de junio de 2020.

**DR. RUBÉN CASTRO FRANCO**  
**COORDINADOR DE LA MAESTRIA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**  
**DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**

**PRESENTE**

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN LA ICTIOFAUNA DEL RÍO AMACUZAC**, que presenta la alumna **KENIA KIRYATAIM BONILLA ROMÁN** mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente  
**Por una humanidad culta**  
*Una universidad de excelencia*

**Dra. Patricia Trujillo Jiménez**  
**Catedrática de posgrado del**  
**Centro de Investigaciones Biológicas**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**PATRICIA TRUJILLO JIMENEZ** | Fecha:2020-07-06 11:57:05 | Firmante

rpDZTVOpeTBSdom11Dp2rMmYjSEHeXkGb4iDCWpM4jq7ZUhJIUaAD9JQfXeBIC/bxFPbFEZ2GbZKJyNj3zCsKUbrGB1wrL5BZ3bI/5sCR4S9LbMku5xEipNjZXDkVW85kRsHs+nJO54Jwyw4LBqfrsFi5fo4q9W1fQ/KEhHL6Lai4EmwZ98CYxqN8sLCY/I5LiLsf9XwBOqKO8FlaiUOx0RnAg+P0rSvkYeh6ChKLeVqhl+6oQXlzGyl+djT7h5QgmjM13PMOI94HkTik+McOw0xRdybsRteHBAsykyg10dJGtRHSI0yZZAVfTeKpP2I3anoA45XVnMXZO3FzU6POw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[qwZ8EI](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/yaugI5kxI2pGKuN1m0IVdD1TjzZMsUOn>



Cuernavaca, Mor., 15 de junio de 2020.

**DR. RUBÉN CASTRO FRANCO**  
**COORDINADOR DE LA MAESTRIA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**  
**DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**

**PRESENTE**

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN LA ICTIOFAUNA DEL RÍO AMACUZAC** que presenta la alumna **KENIA KIRYATAIM BONILLA ROMÁN**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente  
**Por una humanidad culta**  
*Una universidad de excelencia*

**M. en C. Ma. Eugenia Bahena Galindo**  
**Catedrática de posgrado del**  
**Centro de Investigaciones Biológicas**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**MARIA EUGENIA BAHENA GALINDO | Fecha:2020-07-06 12:19:10 | Firmante**

Goj2eX/LtREr5o2LGqtT2lunzWU3aTZARJizYO7ALtRNn1wsBylg/F7k5d3W7AOwRoHwRSmrGdY53Ltw3yL1rWCDaNvYBRvQB3UwpBebID4CZpuZvwJ4t7JqroJSs5G1FbY01j  
TLCR9+6JW2yd8xhQcAZa/4uwsINWguG4EROfinqoJOWcyEZsd693uGhphECsBAhTueA3ibJ+/zwT+0zeyQtJQIDuFR0aKmPaZp9h9hxLXsh8Mc/uWqfo7RjJyU2Q6F9114PDw0  
zEJdnd5PTuoXBCRW4HzdXo4+MYA8GIQaUZg+0zLhkakC66hD+w1F0BQtzOLB+Wbp/9iQrCVg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



ZGPRpd

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/01d6QqPTKsObqJivkJJRiIWmTDObZF>



Cuernavaca, Mor., 15 de junio de 2020.

**DR. RUBÉN CASTRO FRANCO**  
**COORDINADOR DE LA MAESTRIA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**  
**DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**

**PRESENTE**

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN LA ICTIOFAUNA DEL RÍO AMACUZAC** que presenta la alumna **KENIA KIRYATAIM BONILLA ROMÁN**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente  
**Por una humanidad culta**  
*Una universidad de excelencia*

**M. en C. Roberto Trejo Alabarán**  
**Catedrático de posgrado del**  
**Centro de Investigaciones Biológicas**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**ROBERTO TREJO ALBARRAN | Fecha:2020-07-06 13:35:31 | Firmante**

NdqJAJBMZ87y+S0TCDYTqYU7L3doy3+CjxXhM/8tN+Bl01uSjzUxB4at5F1RF2VuhMV35FGC1paDoUb+5cc8ZXGI/IFwGKgl7z2Ls.JoSct2XLkzsGVAbUNoyacU8KYsta4qDv3i9g2zKGIYhIhq3NY6ASAPnN9Z86727u9QgB/cvp6pFxVbvQLgzDJ/gJ1hGkqyfW8v0yjCpjTWa00bI8aVr1y3At5nKhbzMcKAUF464KW9k5B2tAU3bNf2Py1B0vbScuCDv40dEbUu10ja9fi6BANLa3GSRzOxO/rmCOgquKtINKURYUDUBz27IKYNfc29yfs7HrbRv59Tz8Lueb/g==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



**3BZVKh**

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/r1zeWhk7ychH811odHmlFZhFd3CdVn15f>





Cuernavaca, Mor., 15 de junio de 2020.

**DR. ALEJANDRO GARCÍA FLORES**  
**DIRECTOR INTERINO DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**  
**PRESENTE**

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN LA ICTIOFAUNA DEL RÍO AMACUZAC** que presenta la alumna **KENIA KIRYATAIM BONILLA ROMÁN**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente  
**Por una humanidad culta**  
*Una universidad de excelencia*

**Dr. Rubén Castro Franco**  
**Catedrático de posgrado del**  
**Centro de Investigaciones Biológicas**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**RUBEN CASTRO FRANCO** | Fecha:2020-07-06 16:44:40 | Firmante

Z9S/idzlx/hyz+aiFyJ+9PXghF6iYxB2nUEhhvfDEwvRt6kiTwD/UOm+RK6ml38sfWbZxXcPx6CcXWGouzip2e2Inj71QwSjlA9GvWjE5SByPUIGTcT18auQNYu0aCoUR+OzW7nbwhILVvzSJEznzct3HZ8c6OiAhWqMsbNODjkGF4IVyItWYPDRYrXRmC0vZNgLjss99rZ5HIKI0gdK4wp1tNVUwgdHvyrveEb1hPeiCt+TDw2xWv7yy4s6PsrVIVnSmzCiWvtzdYeU7ZbPtwjE0Xx/CpNgoW57KeFiP0S4BizM6b6oIhAaUX49KxrQjRM34gGqQ8+2RsjSKCdthg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[vzLWE2](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/ZzPn8DgoCCdmzlo1v10h6balExnab3s0>

