

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CU UAEM TEMASCALTEPEC

LICENCIATURA EN INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE LA
SUBCUENCA DEL RIO TEMASCALTEPEC MEDIANTE EL
USO DE INDICADORES BIOLÓGICOS.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA ZOOTECNISTA

Presenta

Tania Guadalupe Osorio Montor

Directora de tesis: Dra. Francisca Avilés Nova

Asesor: Dr. Enrique A. Cantoral Uriza

Asesor: Dr. Manuel Antonio Pérez Chávez

Temascaltepec, México, septiembre 2018



DEDICATORIAS

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional.

A mi mamá, por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida. Gracias por la paciencia que has tenido para enseñarme el buen camino, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. Este logro es para ti.

A mi papá, por todo su apoyo incondicional para la realización de este trabajo, sabiendo que está orgulloso de la persona en la cual me he convertido. Sin ti no lo hubiera podido lograr.

A mis hermanos Juan y Katy, que con sus palabras me hacían sentir orgullosa de lo que soy y de lo que les puedo enseñar, gracias por preocuparse por su hermana mayor, por compartir sus vidas, pero sobre todo por estar en este momento tan importante de mi vida.

A mi tía Chuy, quien a lo largo de toda mi vida me ha apoyado y motivado a través de su experiencia en mi formación académica, creyendo en mí en todo momento y no dudando de mis habilidades.

A mi tía Martha, quien me ha cuidado y velado por mí durante este arduo camino para convertirme en una profesional.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Francisca Avilés, directora de tesis, por su valiosa guía, consejos y asesoramiento de la misma.

A los Doctores Enrique Cantoral Uriza y Manuel Antonio Pérez Chávez, que con sus valiosas aportaciones hicieron posible la realización de este proyecto.

A mis sinodales, gracias por darme la oportunidad y por el tiempo que me han dedicado para leer este trabajo.

A los maestros de la Licenciatura en Ingeniero Agrónomo Zootecnista del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión.

A Eve, por su incondicional amistad y su apoyo en cada momento a pesar de la distancia. Gracias amigui por permanecer aquí y creer en mí.

A Alo, por su gran apoyo y por alentarme a continuar cuando parecía que me iba a rendir. Gracias por ser y estar conmigo.

A Merle, por pasar a mi lado los momentos de mi vida universitaria y estar siempre en las buenas y malas.

RESUMEN

Se evaluó la calidad del agua de la Subcuenca del Río Temascaltepec en el Municipio de Temascaltepec, Estado de México usando parámetros físicos, químicos y bioindicadores (macroalgas y macroinvertebrados) a fin de identificar las zonas con diferente estado de calidad de agua, entre febrero y junio de 2018, las cuales marcaron las épocas de muestreo, que fueron: secas-frío y cálida-inicio de lluvias. Para el desarrollo del trabajo se tomaron como referencia 3 estaciones, siendo los principales afluentes de la Subcuenca del Río Temascaltepec (Río Verde, Río Vado, Río Temascaltepec), cada estación con dos sitios de muestreo, uno antes del centro urbano y otro pasándolo con el propósito de medir el impacto de la actividad antropogénica. Las variables físico-químicas que se midieron fueron temperatura (T°C), pH, velocidad de corriente, profundidad, intensidad luminosa, oxígeno. Para la medición de variables químicas: nitritos, amonio y fósforo, se tomaron muestras de 1 litro de agua en frascos de polipropileno para su cálculo a través del método colorimétrico con equipo HANNA. Para la colecta de las muestras de macroalgas y macroinvertebrados, se trazó un segmento de 10 metros de longitud a lo largo del cauce, en las macroalgas se utilizó la técnica de raspado de sustrato además de medirse la cobertura de las macroalgas (crecimientos visibles), y realizarse su determinación taxonómica. Los macroinvertebrados acuáticos se colectaron con una red Surber, obteniendo un total de 28 familias, para su posterior calificación en base al Índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party, para Colombia). A nivel físico químico y ambiental, se distinguieron las 2 épocas de muestreo (secas-frío y cálida-inicio de lluvias) a través de un incremento en la temperatura, intensidad luminosa y velocidad de corriente. Además de que se encontraron en el sitio La Malinche, los niveles más altos de amonio y fósforo, esto por eutrofización y baja calidad del agua. La comunidad algal de macroalgas presentó mayor diversidad en la época de secas-frío, ya que la presencia de diversidad algal macroscópica aumenta durante la estación fría y seca, correlacionada con baja temperatura y agua oligotrófica, características de los arroyos de montaña. A nivel Biológico, con el índice BMWP /Col, se encontraron aguas de calidad ligeramente contaminadas en ambas épocas de muestreo, sin

embargo, en la época cálida-inicio de lluvias solo el sitio San José se encontró con esta condición, y los demás con calidad de agua moderadamente contaminadas. En conclusión, la calidad del agua de la Subcuenca del Río Temascaltepec en la estación Río Vado en el sitio denominado La Malinche, que recibe las descargas residuales del centro urbano del municipio de Temascaltepec, presenta baja calidad del agua, indicado a través de los parámetros físicos y químicos, y la presencia de macroinvertebrados acuáticos que indican contaminación.

Palabras clave: Macroalgas, Macroinvertebrados, BMWP, Eutrofización, Diversidad algal, Temascaltepec, México.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	8
II.	JUSTIFICACIÓN.....	10
III.	OBJETIVOS.....	12
3.1	Objetivo general.....	12
3.2	Objetivos específicos.....	12
IV.	HIPÓTESIS.....	13
V.	MARCO TEÒRICO.....	14
5.1	Ecosistemas acuáticos continentales.....	14
5.2	Contaminación del agua.....	14
5.3	Fuentes de contaminación del agua.....	15
5.3.1	Fuentes puntuales.....	16
5.3.2	Fuentes no puntales.....	16
5.4	Contaminación de aguas superficiales en México.....	17
5.6	Calidad del agua.....	18
5.7	Evaluación de la calidad de agua en ríos.....	19
5.8	Indicadores físicos y químicos del agua.....	19
5.9	Cuencas Hidrográficas.....	20
5.9.1	Subdivisión de cuenca.....	21
5.9.2	Manejo de cuenca.....	21
5.9.3	Políticas de protección de Cuencas Hidrológicas.....	22
5.10	Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.....	22
5.10.1	Especificaciones NOM-001-SEMARNAT-1996.....	23
5.11	Indicadores biológicos de calidad de agua.....	23
5.12	Biomonitoreo.....	24
5.13	Generalidades de las algas.....	25
5.13.1	Clasificación de las algas.....	25
5.14	Algas como indicadoras de contaminación.....	26
5.14.1	Importancia ecológica de las algas en los ríos.....	26
5.14.2	Eutrofización.....	27
5.15	Importancia de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación.....	28

5.15.1 Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party).....	29
5.16 Estudios de flora y fauna en el Municipio de Temascaltepec	30
5.16.1 Vegetación y flora del Municipio de Temascaltepec	30
5.16.2 Artrópodos de Chamela.....	31
5.16.3 Análisis Geocosistemico de la cuenca del Río Temascaltepec	31
VI. ANTECEDENTES	33
6.1 Comunidades algales de afluentes de la presa Valle de Bravo, Estado de México.....	33
6.2 La contaminación en el Curso Alto del Río Lerma	33
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
7.1 Área de estudio	35
7.1.1 Tipo de suelo en la zona de estudio.....	36
7.1.2 Uso de suelo en la zona de estudio.....	37
7.1.3 Clima predominante en la zona de estudio	37
7.2 Descripción de las estaciones y sitios de muestreo	38
7.2.1 Caracterización de las estaciones y sitios de muestreo	39
7.3 Muestreo y determinación de parámetros físicos y químicos del agua <i>in situ</i>	42
7.4 Medición de parámetros químicos en laboratorio	45
7.5 Muestreo de macroalgas	45
7.5.1 Cobertura de macroalgas.....	45
7.5.2 Identificación de macroalgas	47
7.6 Muestreo de macroinvertebrados	47
7.6.1 Identificación de familia de macroinvertebrados	49
7.6.2 Cálculo del índice BMWP	50
7.7 Análisis de la información.....	53
7.7.1 Características físicas y químicas.....	53
7.7.2 Macroalgas.....	53
7.7.3 Macroinvertebrados.....	54
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
8.1 Características físicas y químicas de los sitios.....	55
8.1.1 Análisis de la temperatura (T°C)	59
8.1.2 Análisis del oxígeno (O ₂).....	60
8.1.3 Análisis de la profundidad	61

8.1.4	Análisis del pH	62
8.1.5	Análisis de la intensidad luminosa.....	63
8.1.6	Análisis de la velocidad de corriente.....	64
8.1.7	Análisis del amonio	65
8.1.8	Análisis del fósforo.....	66
8.1.9	Análisis de la variable nitrato.....	66
8.2	Macroalgas	67
8.3	Macroinvertebrados acuáticos	73
8.3.1	Índice BMWP/Col.....	77
8.3.2	Identificación Taxonómica de los ejemplares encontrados en ambas épocas de muestreo, de acuerdo a su valor como indicador biológico.	80
IX.	CONCLUSIONES.....	89
X.	RECOMENDACIONES	90
XI.	LITERATURA CITADA.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límite máximo permisible de concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas residuales a aguas.....	23
Tabla 2. Estaciones y sitios de muestreo de la Subcuenca del Río Temascaltepec.....	39
Tabla 3. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.....	50
Tabla 4. Calidad del agua de acuerdo al puntaje BMWP/Col.....	51
Tabla 5. Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col, significado y colores para representaciones cartográficas.	52
Tabla 6. Valores mínimos, máximos y desviación estándar de los parámetros físicos y químicos obtenidos en la época de muestreo secas-frío.....	57
Tabla 6.1 Valores de nutrientes por estación y sitio de muestreo. Época secas-frío	57
Tabla 7. Valores mínimos, máximos y desviación estándar de los parámetros físicos y químicos obtenidos en la época de muestreo cálida-inicio de lluvias.....	58
Tabla 7.1 Valores de nutrientes por estación y sitio de muestreo. Época cálida-inicio de lluvias	58
Tabla 8. Análisis de la temperatura	59
Tabla 9. Análisis del oxígeno.....	60
Tabla 10. Análisis de la profundidad.	61
Tabla 11. Análisis del pH.....	62
Tabla 12. Análisis de la intensidad luminosa.....	63
Tabla 13. Análisis de la velocidad de corriente.	64
Tabla 14. Análisis de amonio.	65
Tabla 15. Análisis de fósforo.	66
Tabla 16. Cobertura de macroalgas (área en cm ²) por especie registrada, en cada sitio de muestreo. Época secas-frío	67
Tabla 17. Cobertura de macroalgas (área en cm ²) por especie registrada, en cada sitio de muestreo. Época cálida-inicio de lluvias	68

Tabla 18. Identificación taxonómica y características de las especies algales registradas en la Subcuenca del Río Temascaltepec... ..	70
Tabla 19. Familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en cada sitio de muestreo en la época de secas-frío.	73
Tabla 20. Familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en cada sitio de muestreo en la época de cálido-inicio de lluvias.	74
Tabla 21. Valores de bioindicación época secas-frío. Macroinvertebrados acuáticos	78
Tabla 22. Valores de bioindicación época cálida-inicio de lluvias. Macroinvertebrados acuáticos.....	79
Tabla 23. Identificación taxonómica y características de los macroinvertebrados utilizados como bioindicadores.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Municipio de Temascaltepec	35
Figura 2. Afluentes que constituyen la Subcuenca del Río Temascaltepec	36
Figura 3. Sitios de muestreo en la Subcuenca del Río Temascaltepec	38
Figura 4. Sitio 1 La Toma	39
Figura 5. Sitio 2 Planta de Luz	40
Figura 6. Sitio 3 San José	40
Figura 7. Sitio 4 La Malinche	41
Figura 8. Sitio 5 Milán.....	41
Figura 9. Sitio 6 CU UAEM Temascaltepec	42
Figura 10. Medición de profundidad con barra de madera graduada (1 metro)	43
Figura 11. Toma de temperatura del agua (T °C) y el Oxígeno Disuelto utilizando monitor de Oxígeno-Temperatura modelo OT-21 DEMISTA INSTRUMENTS.....	43
Figura 12. pH-metro NESTER INSTRUMENTS para la medición del potencial de Hidrógeno.....	43
Figura 13. Tester Medidor De pH y Luz. Para medir la intensidad de luz	44
Figura 14. Medición de la velocidad de corriente	44
Figura 15. Obtención de porcentaje de cobertura.	46
Figura 16 y 17. Etiquetado de muestras algales	47
Figura 18. Muestreo de macroinvertebrados.....	48
Figura 19. Macroinvertebrados atrapados en red Surber.....	48
Figura 20. Macroinvertebrados en alcohol al 70%	49

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Área total de cobertura (cm ²) por macroalga. Época de secas-frío	69
Gráfico 2. Área total de cobertura (cm ²) por macroalga. Época cálida-inicio de lluvias	69
Gráfico 3. Presencia de familias de macroinvertebrados por estación (porcentaje)	75

I. INTRODUCCIÓN

El municipio de Temascaltepec es único por su ubicación entre caídas de agua y barrancas, además de la presencia en la parte alta del Xinantécatl, convirtiéndolo así en un municipio mega diverso, propiciado por su topografía y su clima excepcional. Siendo así que es considerado dentro del Estado de México como uno de los Municipios más ricos en flora y fauna silvestre. Cabe mencionar, que Temascaltepec cuenta con espacios privilegiados para la captación de agua, formando así una amplia red hidrológica perteneciente a la región del Balsas, siendo este lugar el origen de esta cuenca y por ende la proveedora del más importante servicio ambiental, el agua. Esta red está integrada en su origen por manantiales, creando éste afluente, que unidos, por un lado, el Río Verde y por el otro, el Río Vado, forman a su vez el Río Temascaltepec, que río abajo por la unión del Río Telpintla, conforman el Río Grande, mismo que desemboca al Cutzamala.

Desde el punto de vista de la biosfera, los ríos constituyen una importante reserva de agua de acceso para los seres vivos y también son el hábitat de innumerables formas de vida. Sin embargo, el deterioro de estos ambientes continentales, es resultado de los cambios provocados por actividades antropogénicas, teniendo como consecuencia que la calidad del agua se haya visto alterada en diverso grado (De la Lanza *et al.*, 2011). En México, la contaminación del agua es un problema grave ya que numerosos sitios de las cuencas hidrológico-administrativas como lo son: Aguas del Valle de México, Balsas, Lerma-Santiago-Pacífico, Pacífico-Sur y Península de Baja California, se encuentran clasificados como fuertemente contaminados. Estos ecosistemas acuáticos tienen la capacidad de degradar los desechos contaminantes y mantener su equilibrio ecológico. No obstante, el aumento en el uso del agua para satisfacer las necesidades industriales, agricultura y uso doméstico, etc., ha hecho que tal equilibrio se haya perdido. Se ha trabajado en la búsqueda de especies indicadoras del grado de contaminación, encontrando que existen grupos de especies cuya presencia en un río depende del grado de contaminación y el tipo de contaminantes (Tabash, 1988).

En Temascaltepec, Estado de México, a través de estudios practicados en los habitantes de la zona agrícola y en comunidades donde pasa el Río Temascaltepec, se han detectado graves enfermedades como anemia hemolítica y leucemia (Quadratín, 2017) causadas por contaminantes arrojados al afluente por las industrias mineras asentadas en el municipio y los miles de descargas de drenajes de las casas, por más de 30 años. Derivado de esto surge la necesidad de proponer organismos que caractericen condiciones particulares, para utilizarse como indicadores de la calidad del agua de la Subcuenca del Río Temascaltepec, como una herramienta incluso, para generalizarse en el monitoreo del preciado líquido. Destacando la importancia de la protección y cuidado de este recurso vital, eje central de la integridad social, ambiental y productiva.

Por lo anterior en este trabajo se realizó un recorrido a lo largo de los diferentes afluentes que conforman el Río Temascaltepec, determinándose zonas de muestreo, tomando en cuenta la representatividad ecológica de las mismas. Se midieron parámetros físicos y químicos *in situ* y en laboratorio, además de recolectarse muestras de macroalgas y macroinvertebrados, los cuales se utilizaron como bioindicadores de la calidad del agua dadas sus características biológicas y ecológicas que reflejan adecuadamente el estado ecológico de las aguas superficiales frente a impactos antrópicos.

II. JUSTIFICACIÓN

La condición y cantidad de las descargas directas de agua o de residuos sólidos provenientes de las actividades domésticas, agropecuarias o industriales, así como la disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos o peligrosos, son factores que determinan la calidad del agua de un cuerpo (SEMARNAT, 2014). La pérdida de características salubres del agua perjudica directamente a las comunidades que viven en las inmediaciones de los ríos, lagos y otros afluentes porque provoca daños a la salud e infecta las fuentes de alimentos. Además representa un alto costo para la sociedad en su conjunto: entre más agua sea contaminada en los afluentes, más costoso será potabilizarla, llevarla a las ciudades y atender los impactos que deje en las comunidades y en el medio ambiente (GREENPACE, 2012). En México, la degradación de la calidad del agua es un problema grave ya que numerosos sitios de las cuencas-hidrológicas se encuentran clasificados como fuertemente contaminados (Tinoco, 2016).

Actualmente se realizan análisis fisicoquímicos para determinar la calidad del agua empleando equipos sofisticados, no obstante, los resultados solo reflejan la condición del momento de la toma de muestra. Ante estas limitaciones, surge la utilización de organismos como los peces, macroinvertebrados y macroalgas como herramientas para evaluar el estado ecológico de aguas superficiales (Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 2000). Existen dos importantes conceptos a favor de una evaluación biológica; primero, los organismos tienen una respuesta integradora con respecto a su ambiente y a las fluctuaciones en la calidad del agua, los cuales no son detectados por análisis químicos intermitentes; y segundo, supervisar la evolución de estas especies permite evaluar si el ecosistema acuático mantiene condiciones saludables que conserven la diversidad de las comunidades de organismos (Della *et al.*, 2007).

En Temascaltepec, los principales afluentes que constituyen la Subcuenca del Río Temascaltepec se han visto afectadas por contaminantes arrojados al afluente por múltiples descargas de drenajes de las casas, por más de 30 años. El daño ecológico y sanitario que sufre el municipio de Temascaltepec es inconcebible. La

disminución de la calidad del agua no sólo afecta al ambiente, también podrían ser origen de enfermedades entre los habitantes de las poblaciones colindantes y cientos de localidades por donde pasa este río que desemboca en los afluentes de los vecinos estados de Guerrero y Michoacán (Quadratín, 2017).

Por tales motivos, es importante realizar un estudio sobre la calidad actual del agua de los diferentes afluentes de la Subcuenca del Río Temascaltepec, haciendo uso de bioindicadores que muestren los cambios ecológicos sufridos por acciones antrópicas y el nivel de contaminación que éste presenta.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del agua a través del estudio de macroalgas y macroinvertebrados, utilizados como indicadores biológicos del estado ambiental de los diversos afluentes de la Subcuenca del Río Temascaltepec.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar taxonómicamente las principales macroalgas y macroinvertebrados utilizados como bioindicadores.
- Determinar la calidad del agua en la Subcuenca del Río Temascaltepec en los diferentes puntos de muestreo, con base en la identificación de las especies acuáticas indicadoras (macroalgas y macroinvertebrados).
- Determinar parámetros físico-químicos del agua en los diferentes sitios de muestreo (temperatura, oxígeno, profundidad, pH, intensidad luminosa, velocidad de corriente y cantidad de nutrientes (amonio, nitrato y fósforo)).

IV. HIPÓTESIS

Con el uso de macroalgas y macroinvertebrados como bioindicadores se podrá determinar la calidad del agua de los diferentes afluentes de la Subcuenca del Río Temascaltepec, ya que los bioindicadores responden rápido y sensiblemente a los cambios físicos, químicos y biológicos que se producen en su entorno.

V. MARCO TEÒRICO

5.1 Ecosistemas acuáticos continentales

El agua dulce es vital para la vida humana y el bienestar económico. Para satisfacer las necesidades humanas, se extraen grandes cantidades de agua de los ríos, los lagos, los humedales y los acuíferos subterráneos para abastecer los requerimientos de las ciudades, el campo y la industria. Estos ecosistemas de agua dulce proveen materias primas valoradas económicamente y servicios al ser humano (agua potable, riego, transporte, recreación, etc.), así como hábitat para plantas y animales (Sociedad Norteamericana de Ecología, 2003).

5.2 Contaminación del agua

El agua es el responsable del desarrollo de las distintas formas de vida (vegetales, animales y el ser humano), hace funcionar todos los ecosistemas, al ser uno de los elementos naturales que se encuentran en mayor cantidad en el planeta. La contaminación del agua es producida por los residuos vertidos, los fertilizantes, pesticidas o químicos que desembocan en las aguas dulces y que acaban por contaminar también el agua salada. El agua no solo es necesaria para cultivar y procesar alimentos, también brinda energía a la industria con el objeto de satisfacer a una población en constante crecimiento. La gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas, conlleva a que el agua que beben cientos de millones de personas se vea peligrosamente contaminada, además de que la contaminación del agua también provoca que parte de los ecosistemas acuáticos terminen desapareciendo por la rápida proliferación de algas invasoras que se nutren de todos los nutrientes que les proporcionan los residuos (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, 2017).

Para González (2007), la contaminación hídrica impone una serie de consecuencias negativas en los cuerpos / recursos de aguas, que resultan en una menor disponibilidad de agua dulce de calidad adecuada, entre ellas:

- Alteración, degradación o muerte de distintas formas de vida acuáticas.
- Transmisión de enfermedades entre seres vivos, por contacto e ingesta de aguas contaminadas.
- Reducción de los usos potenciales del agua (vida acuática, riego, recreación, etc.)
- Pérdida de belleza escénica y del uso turístico o recreativo.

5.3 Fuentes de contaminación del agua

El agua limpia es un recurso crucial para bebida, irrigación, industria, transporte, recreación, pesca, caza, soporte de la biodiversidad y el disfrute estético. El ingreso de contaminantes ha incrementado en las décadas recientes, y el resultado ha sido la degradación de la calidad del agua en ríos, lagos y océanos costeros. Esta degradación muestra la disrupción del ecosistema acuático natural y la consecuente pérdida de las especies que lo componen como también las amenidades que estos ecosistemas pueden proveer a la sociedad (Sociedad Norteamericana de Ecología, 1998).

El agua es el elemento indispensable tanto para el ser humano, como para animales y plantas (Contaminación Ambiental.net, 2017). La contaminación del agua se define como la modificación de las condiciones de la misma causada por el ser humano a través de diversos factores, volviéndola nociva para el ser humano y demás seres vivos.

De acuerdo a Carpenter y colaboradores (1998) dentro de los factores de contaminación existen fuentes puntuales y no puntuales del agua.

5.3.1 Fuentes puntuales

- Efluentes de aguas residuales de origen cloacal e industrial
- Escorrentía y lixiviación desde sitios de deposición de desechos
- Escorrentía e infiltración desde sitios de ganadería en “feed lots”
- Escorrentías desde sitios mineros, campos petroleros e industrias sin sistemas cloacales
- Desagües pluviales a partir de sitios con poblaciones mayores a 100.000 habitantes
- Escorrentías desde sitios en construcción mayores a 2 hectáreas
- Flujo superficial de desagües sanitarios y fluviales

5.3.2 Fuentes no puntuales

- Escorrentía desde zonas agrícolas (incluyendo el flujo de retorno de la agricultura de regadío)
- Escorrentía desde zonas de pastoreo y cría de ganado
- Escorrentía urbana a partir de áreas sin desagües cloacales y áreas con desagües cloacales menores a 100.000 habitantes
- Lavado y escorrentía a partir de sistemas sépticos en malas condiciones
- Escorrentías a partir de sitios en construcción menores a 2 hectáreas
- Escorrentía desde sitios mineros abandonados
- Deposición atmosférica sobre las aguas superficiales
- Actividades terrestres que generan contaminación como deforestación, conversión de humedales, construcción y desarrollo de tierras y cursos de agua.

La descarga de elementos contaminantes a partir de fuentes puntuales tiende a ser continua y simple de identificar y monitorear. No obstante, las fuentes no puntuales emanan de una serie de actividades a través de grandes áreas y son mucho más complicadas de controlar (Carpenter *et al.*, 1998).

5.4 Contaminación de aguas superficiales en México

Los ríos y arroyos del país constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, donde se destacan cincuenta ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del país. A partir de 2005 se han realizado monitoreos biológicos en algunas regiones del país, los cuales permiten evaluar la calidad del agua con ayuda de métodos sencillos y de bajo costo. La evaluación de la calidad del agua se lleva a cabo utilizando tres indicadores: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La DBO_5 indica la cantidad de materia orgánica biodegradable en tanto que la DQO mide la cantidad total de materia orgánica. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, debido al aumento de la DQO se puede notar la presencia de sustancias que provienen de descargas no municipales.

De acuerdo con los resultados de las evaluaciones de calidad del agua para los tres indicadores (DBO_5 , DQO y SST) aplicadas a los sitios de monitoreo en 2013, se determinó que los SST tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta el agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa (CONAGUA, 2014).

5.5 Calidad del agua en los ríos de México

Los ríos son sistemas en equilibrio dinámico que generan importantes servicios ecosistémicos y, por tanto, beneficios para los seres vivos. Los cursos fluviales, al ser tridimensionales, actúan como corredores, barreras, fuentes y sumideros. Sin embargo, estas características los han hecho proclives a ser deteriorados en su calidad a consecuencia de diversas actividades antropogénicas que tienden a alterar su estructura, composición y funciones. Las principales actividades que producen presiones e impactos a estos ecosistemas acuáticos son, como menciona Hernández (2014) la intensa regulación causada por la presencia de embalses, derivaciones, vertidos (urbanos, industriales, agrícolas), detracciones, retornos, trasvases, cambios de usos del suelo y procesos de urbanización de la cuenca, incendios, plantaciones, entre otros.

5.6 Calidad del agua

La disponibilidad del agua es de vital importancia para la vida y el desarrollo económico de las regiones. Los recursos disponibles se deben repartir entre los usuarios, pero además se debe tener en consideración las necesidades del ambiente. Durante mucho tiempo, todos los recursos se consideraban disponibles para cualquier uso antrópico, sin tomar en cuenta la calidad o las necesidades para los usos ambientales.

La calidad, desde un punto de vista funcional, se entiende como la capacidad intrínseca que tiene el agua para responder a los usos que se podrían obtener de ella, pero desde un punto de vista ambiental, se define como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y para que cumpla con determinados objetivos de calidad ecológica (Secretaría de Estado de Aguas y Costas, 2000).

5.7 Evaluación de la calidad de agua en ríos

Para asegurar el uso sostenible del recurso hídrico es indispensable conocer su comportamiento y respuesta ante distintas intervenciones antrópicas, por lo que es necesaria la valoración de su calidad ante sus posibles usos (Gómez *et al.*, 2007). El uso de determinaciones fisicoquímicas ha sido el método tradicional para evaluar la calidad del agua. Sin embargo, actualmente se han complementado con el método biológico mediante el uso de comunidades biológicas. Este método trabaja sobre la premisa que el nivel de respuesta de los organismos difiere según el tipo de contaminante a que han sido expuestos (Figueroa *et al.*, 2003).

5.8 Indicadores físicos y químicos del agua

Los parámetros de calidad de agua se diferencian según sus orígenes biológicos, químicos y físicos; por causas principalmente de carácter antropocéntricos como el caso del uso de la tierra. Entre ellos se mencionan el pH, turbidez, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales, coliformes fecales. Los indicadores seleccionados para la calidad del agua en cualquier estudio se definirán en dependencia de los usos actuales y potenciales de la cuenca. Entre las categorías recomendadas para los diversos empleos del agua están: provisión de agua para consumo doméstico e industrial, recreación, protección de organismos acuáticos fauna y flora, usos agrícolas y pecuarios, uso comercial hidroelectricidad, navegación, entre otros (Casilla, 2014). Según Orozco *et al.*, (2005) citado por (Samboni *et al.*, 2007) la calidad del agua se ha valorado a partir de diversas variables físicas, químicas y biológicas la calidad de diferentes tipos de agua, evaluadas individualmente o en forma grupal.

Los parámetros físico-químicos permiten obtener una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes

responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del agua.

Algunos de los parámetros físico-químicos que se miden son:

- Temperatura: La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, de forma que un aumento en ésta modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases.
- Oxígeno disuelto (OD): Es un parámetro indicativo de la calidad de un agua. Se determina "*in situ*" mediante electrodo de membrana o por yodometría fijando el oxígeno con sulfato de magnesio expresándolo como mg/L de oxígeno disuelto en la muestra de agua.
- Acidez y basicidad (pH): Es una medida de la concentración de iones hidronio (H_3O^+) en la disolución. Se determina mediante electrometría de electrodo selectivo (pH metro) conservando la muestra en frasco de polietileno o vidrio de borosilicato en nevera menos de 24 h, obteniendo la concentración en valores de pH comprendidos entre 1 y 14. Las aguas con valores de pH menores de 7 son aguas ácidas y las que poseen valores mayores de 7 se denominan básicas (Aznar, 2000).

5.9 Cuencas Hidrográficas

Una cuenca es el área geográfica por donde transita el agua hacia una corriente principal y luego hacia un punto común de salida, es también el territorio en el que ocurre el ciclo hidrológico. Debido a lo anterior se considera la cuenca como la unidad geográfica más funcional para administrar el agua. Estas concavidades que la naturaleza ha creado en la superficie de la tierra mediante las fuerzas tectónicas, la fuerza del agua, del viento, los tipos de suelos y la vegetación, pueden extenderse desde algunos kilómetros cuadrados hasta cientos o miles. Las cuencas son además los espacios geográficos donde los grupos y comunidades comparten identidades, tradiciones y cultura, y donde socializan y trabajan en función de la disponibilidad de recursos renovables y no renovables. En las cuencas, la naturaleza obliga a reconocer necesidades, problemas, situaciones y riesgos

hídricos comunes, por lo que debería ser más fácil coincidir en el establecimiento de prioridades, objetivos y metas también comunes y la práctica de principios básicos, como el de corresponsabilidad y el de solidaridad en el cuidado y preservación de los recursos naturales, que permitan la supervivencia de la especie (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, 2017).

5.9.1 Subdivisión de cuenca

Dentro de los términos que generalmente se utilizan para definir e identificar los componentes de una cuenca tenemos:

- Cuenca: Sistema integrado por varias Subcuenca o microcuencas.
- Subcuenca: Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente.
- Microcuencas: Es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Subcuenca; es decir, que una Subcuenca está dividida en varias microcuencas.
- Quebradas: Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca (Gálvez, 2011).

5.9.2 Manejo de cuenca

Actualmente se ha incrementado la necesidad de realizar estudios ambientales integrales para llevar a cabo una planeación y el óptimo aprovechamiento de los recursos naturales. De los factores que intervienen en el funcionamiento y operación de las cuencas, se considera que el clima es el más importante, ya que de él depende el desarrollo de la mayoría del proceso. La estabilidad de la cuenca puede ser alterada por cambios climáticos, ya que modifican el funcionamiento de varios componentes al promover cambios en la cantidad e intensidad del agua que entra al sistema (Manzo Delgado & López García, 1997).

5.9.3 Políticas de protección de Cuencas Hidrológicas

Aquellas regiones que se abastecen tanto de agua potable como para usos agrícolas a través del aprovechamiento de manantiales, ríos o acuíferos, deben diseñar una política pública de protección de sus cuencas hidrológicas, sabiendo que éstas, son la fuente primaria de abastecimiento (Pichardo, 2009). Siendo los objetivos de las políticas los siguientes:

- a) Evitar deforestación
- b) Evitar la ampliación de la frontera agrícola en la cuenca (evitar el cambio de uso del suelo de uno silvícola a otro)
- c) Lograr que la cubierta forestal de la cuenca se extienda
- d) Estar preparados para evitar los incendios forestales
- e) Evitar la erosión de suelos y la pérdida de cubierta vegetal
- f) Evitar el arrastre de materia orgánica por el cauce de arroyos y ríos

No obstante, el manejo sostenible es primordial para mantener y acrecentar la oferta de agua, siendo la población consumidora de la metrópolis y ciudades las principales interesadas en que no disminuya este servicio ambiental (Pichardo, 2009).

5.10 Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996

El cuidado del agua nos concierne a todos, desde los que la consumimos a diario hasta los que hacen que llegue a nuestro hogar para su uso doméstico; en especial a las autoridades, quienes han realizado algunas Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales. La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos (CONAGUA, 1997).

5.10.1 Especificaciones NOM-001-SEMARNAT-1996

La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible mostrado en la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana (CONAGUA, 1997). El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

Tabla 1. Límite máximo permisible de concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas residuales a aguas.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																					
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO				
	Uso en riego agrícola (A)		Uso Público Urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)		
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2	
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

P.D.= Promedio Diario; P.M.= Promedio Mensual; N.A.= No es aplicable (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

5.11 Indicadores biológicos de calidad de agua

Generalmente la evaluación de la calidad del agua se hace por medio de parámetros físico-químicos, los cuales suministran información instantánea de las condiciones del agua. Un método alternativo para evaluar la calidad del agua, con un alto nivel de confiabilidad y que muestra las condiciones presentes y pasadas de un cuerpo de agua es la utilización de bioindicadores, en los ecosistemas lóticos (con flujo

unidireccional de agua), los principales grupos de organismos que se utilizan como indicadores, son las algas de perifiton y los macroinvertebrados acuáticos (López, 2009).

Los indicadores biológicos pueden ser definidos como organismos o comunidades de organismos que responden a un estímulo cambiando sus funciones vitales o acumulando toxinas (quienes las tienen) (Arndt & Schweizer, 1991). Estos estímulos pueden indicar la presencia de un contaminante en el ambiente y provocar diferentes reacciones en los organismos, lo cual indica su utilidad como indicadores para determinar la presencia de contaminantes en el ambiente (García *et al.*, 2017).

El uso de bioindicadores ofrece como ventaja la posibilidad de evaluar el estado ecológico en el que se encuentra un río en un momento determinado y adicionalmente observar su evolución en el tiempo. Con este fin se utilizan organismos sensibles a los cambios que en su mayoría indican la presencia de contaminantes o alteraciones en su ecosistema (García *et al.*, 2017).

5.12 Biomonitorio

De acuerdo a Prat & Munné (2014) el biomonitorio de la calidad del agua consiste en realizar una medición o seguimiento usando los organismos que habitan un ecosistema determinado, con el fin de diagnosticar su estado actual. El uso de variables biológicas es esencial en el biomonitorio, al igual que la búsqueda y selección de un indicador óptimo, cuya presencia, abundancia y comportamiento refleje los efectos de cualquier tipo de estresor sobre la biota. Los indicadores utilizados en este tipo de monitoreo pueden variar en diferentes niveles, desde monitoreo de unidades morfológicas y material genético hasta poblaciones y comunidades de macro organismos y niveles ecosistémicos (Bonada *et al.*, 2006). Su amplia aplicación se debe a la facilidad que brinda para evaluar de forma más acertada características químicas y biológicas de los cuerpos hídricos, sobre todo evaluar la salud ecológica de los mismos (Metcalf, 1989).

5.13 Generalidades de las algas

Se consideran plantas talofitas, es decir, no poseen raíz, tallo y hojas. No desarrollan embrión y son organismos autótrofos, es decir, tienen la capacidad de sintetizar su propio alimento. Las algas son principalmente acuáticas, viviendo tanto en agua dulce como en agua de mar. También pueden ocupar otros ambientes como el suelo, las rocas, corteza de árboles, etc. (Peña *et al.*, 2005).

5.13.1 Clasificación de las algas

- Algas verdes (*Chlorophyta*): Planta verdes unicelulares libres o en colonia, o pluricelulares de formas diversas con o sin flagelos. Nutrición heterótrofa, autótrofa, parásitos, saprófitos epifitas. Medio de vida: Aguas dulces, salobres, sobre piedras, corteza de árboles. Importancia: Agregan oxígeno al agua (Rodríguez & Porras, 2008).
- Algas rojas (*Rhodophyta*): La mayoría pluricelulares con tallos de forma variada. Las algas rojas deben su color característico a la presencia de pigmentos ficobilinos accesorios que son la ficoeretina (roja) y ficocianina (azul). Son autótrofas. Presentan la reproducción sexual y asexual. Se encuentran en aguas saladas, salobres y algunas en aguas dulces (Rodríguez & Porras, 2008).

La importancia biológica de las algas, radica principalmente en que las algas son los organismos fotosintéticos principales de ríos, lagos y mares, producen oxígeno, materia orgánica y son la base de la cadena alimenticia de los ecosistemas acuáticos, siendo, por lo tanto, los productores primarios de una superficie equivalente al 70% del planeta (Peña *et al.*, 2005).

5.14 Algas como indicadores de contaminación

Las algas al tener ciclos de vida cortos, se convierten en indicadoras adecuadas para impactos a corto plazo; los hábitos de fijación de la mayoría de las especies hacen que sean afectadas directamente por los cambios físicos y químicos en la columna del agua; por ser productores primarios, son sensibles a contaminantes que no tienen efecto sobre organismos heterótrofos y además son fáciles de muestrear (Peña *et al.*, 2005).

5.14.1 Importancia ecológica de las algas en los ríos

En los ríos, las algas son las protagonistas principales en la producción de materia orgánica, oxígeno y en la base de la cadena alimenticia. Los efectos de contaminación por actividades humanas afectan la calidad del agua por ende de la producción algal. En la mayoría de las algas, los efectos post contaminación de las aguas traen como consecuencia la disminución de la biomasa algal de especies no adaptadas a tolerar estas nuevas condiciones y por consiguiente la reducción de la productividad del cuerpo de agua o por el contrario, estas condiciones pueden favorecer la aparición de otras especies de algas resistentes a la contaminación que pueden convertirse en indicadoras de condiciones ambientales en los ecosistemas acuáticos (Peña *et al.*, 2005).

De acuerdo a Stevenson (1996); Graham & Wilcox (2000) citado por Bojorge & Cantoral Uriza (2016) las algas bentónicas tienen un papel de gran importancia en los ambientes lóticos, ya que participan fuertemente en los ciclos biogeoquímicos, la retención de nutrientes, la formación y estabilidad de los sedimentos y cambian la velocidad de corriente, generando micro hábitats que son utilizados por otros organismos acuáticos (peces y macroinvertebrados) como zonas de refugio, para depositar sus huevos o como alimento.

5.14.2 Eutrofización

Las algas responden a la eutrofización cuyo proceso ocurre en los cuerpos de agua donde se produce un enriquecimiento con nutrientes, lo que conlleva a un incremento de la biomasa vegetal, provocando un deterioro de la calidad del agua e interfiriendo con el uso de la misma.

El vocablo eutrofización está formado por las raíces griegas EU: bien, bueno y TROFÉ: alimentación, nutrición; por lo que su significado literal es “resultado o efecto de una buena alimentación”. La eutrofización se consideraba un proceso natural de envejecimiento por el cual los lagos cálidos pocos profundos evolucionaban a tierras secas. Sin embargo, éste término se utilizó posteriormente para definir el fenómeno provocado por los vertidos de los desechos de actividades humanas, llamándolo: *Proceso de eutrofización cultural o simplemente eutrofización* (Aranda, 2004; Moreno *et al.*, 2010).

Se reconocen tres clases de cuerpos de agua según su grado de enriquecimiento de nutrientes (estado trófico) y materia orgánica: oligotróficos, mesotróficos y eutrófico. Los cuerpos de agua oligotróficos son insuficientes en cuanto a nutrientes, tienen niveles bajos de algas, macrofitas y materia orgánica; buena transparencia y oxígeno abundante. Los cuerpos de agua eutrófico son ricos en nutrientes; tienen niveles altos de algas, macrofitas y materia orgánica; poca transparencia. Los lagos mesotróficos presentan características intermedias, muchas veces con abundancia de peces porque tienen niveles elevados de producción de materia orgánica y suministro adecuado de oxígeno (Mihelcic *et al.*, 2001). En condiciones de oligotrofia a mesotrofia existe un equilibrio en donde todos los aportes de masa y nutrientes inorgánicos son procesados completamente, impidiendo la acumulación de biomasa en descomposición. Cuando las actividades humanas aportan nutrientes en exceso, la secuencia de eventos se dinamiza y la fase de crecimiento y mortalidad de la biomasa superan la capacidad de remineralización (UNESCO, 2009).

La principal causa que desencadena el paso de un estado oligotrófico a uno eutrófico es el aporte de una carga de fósforo y/o nitrógeno en una tasa mayor a la que el sistema acuático puede procesar, esta entrada de nutrientes se debe en su mayoría a la descarga directa de las aguas residuales crudas o parcialmente tratadas, desechos urbanos, industriales y agrícolas, así como la deforestación (Aranda, 2004).

5.15 Importancia de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación

Los sistemas lóticos son considerados uno de los recursos naturales más importantes para la vida. Sin embargo, en las últimas décadas estos ecosistemas han sufrido grandes impactos causados por las actividades humanas, que han llevado a una reducción sustancial de la biota acuática o incluso su desaparición (Lara *et al.*, 2008).

No todos los organismos acuáticos podrán ser tomados como bioindicadores, las adaptaciones evolutivas a diferentes condiciones ambientales y límites de tolerancia a una determinada alteración dan las características a ciertos grupos de macroinvertebrados que podrán ser considerados como organismos sensibles (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) por no soportar variaciones en la calidad del agua, mientras que organismos tolerantes (Chironomidae, Oligoquetos), son característicos de agua contaminada por materia orgánica (Roldán, 1999).

Cuando los parámetros son críticos los organismos sensibles mueren y su lugar es ocupado por los organismos tolerantes (Alba, 1996). De tal forma que los cambios de la estructura y composición de las comunidades bióticas puede ser utilizada para identificar y evaluar los grados de contaminación de un ecosistema acuático.

Prat 1998, discute algunos métodos biológicos para la evaluación de la calidad de agua y considera a los MAIA (macroinvertebrados acuáticos) como el método que ofrece mayor nivel de sensibilidad, bajos costos y métodos simples de muestreo y

análisis, junto a las macrofitas y algas son indicadores puntuales de materia orgánica, eutrofización y acidificación, todos estos métodos son simples y baratos, la inconveniencia está en que se necesita tener un conocimiento adecuado de la taxonomía de cada grupo.

5.15.1 Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party)

De acuerdo a Alba (1988) los macroinvertebrados acuáticos son generalmente abundantes, relativamente fáciles de recolectar y tienen el suficiente tamaño para ser observados sin necesidad del microscopio, o cuando menos, de infraestructura sofisticada. Presentando las siguientes ventajas:

- Son prácticamente universales
- Son sedentarios
- Son extremadamente sensibles a perturbaciones
- Presentan largos ciclos de vida
- Muestran una respuesta inmediata ante un determinado impacto
- Presentan un patrón estímulo-respuesta ante alteraciones físico-químicas

Se considera que un organismo es un indicador de calidad del agua, cuando éste se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat. Así, por ejemplo, en ríos de montaña de aguas frías, muy transparentes, oligotróficas y muy bien oxigenadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominantes de efemerópteros, tricopteros y plecópteros; pero también se espera encontrar en bajas proporciones, odonatos, hemípteros, dípteros, neurópteros, ácaros, crustáceos y otros grupos menores.

Por el contrario, en ríos y quebradas que están siendo contaminadas con materia orgánica, de aguas turbias, con poco oxígeno y eutrofizadas, se espera encontrar poblaciones dominantes de oligoquetos, chironómidos y ciertos moluscos; pero

ocasionalmente, pueden presentarse algunos pocos individuos que se consideran indicadores de aguas limpias. En situaciones intermedias, o sea en aguas que comienzan a mostrar síntomas de contaminación, o por el contrario que comienzan a recuperarse, es común encontrar poblaciones dominantes de turbelarios, hirudíneos, ciertos moluscos (*Lymnaeidae* y *Physidae*), de quironomidos y oligoquetos, mezclados en menor proporción con ciertos efemerópteros y tricópteros (Roldán Pérez, 1999).

El método Biological Monitoring Working Party (BMWP, por sus siglas en inglés) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y por el tiempo que se necesitaba invertir. El método sólo requiere llegar hasta el nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles como *Perlidae* y *Oligoneuriidae* reciben puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, *Tubificidae*, reciben una puntuación de 1.0 (Armitage *et al.*, 1983). La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP.

5.16 Estudios de flora y fauna en el Municipio de Temascaltepec

5.16.1 Vegetación y flora del Municipio de Temascaltepec

En el Municipio de Temascaltepec se han llevado a cabo varios estudios respecto a la flora y fauna, tal es el caso del estudio que lleva por nombre *Vegetación y flora del municipio de Temascaltepec, Estado de México, México*, en el cual presentan Rojas Zenteno *et al.*, (2016) la descripción de la vegetación y la riqueza florística del municipio de Temascaltepec en el Estado de México, en el cual se realizaron 35 salidas a todo el municipio durante las distintas épocas del año y se reconocieron, describieron y cartografiaron el bosque de *Abies*, de *Abies-Pinus*, de *Pinus*, de

Pinus-Quercus, de *Quercus*, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio y pastizal. Registrándose 106 familias, 323 géneros y 617 especies. Las familias mejor representadas fueron *Poaceae* con 127 especies, *Asteraceae* con 61 y *Orchidaceae* tiene 47. Las especies *Pinus herrerae*, *Pinus luzmariae* y *Ceiba parvifolia* se reportan como nuevos registros para el municipio, las dos últimas lo son también para el Estado de México. Además, se recolectaron *Quercus hintonii* y *Encyclia adenocaula* consideradas endémicas del Estado de México. En otro estudio realizado por Avilés *et al* (2012) en el Municipio de Temascaltepec, también muestran la inmensa riqueza de especies de la familia *Poaceae* reportando 128 especies agrupadas en 60 géneros, de los cuales *Muhlenbergia* y *Paspalum* representan el 21% del total de especies localizadas en 32 localidades durante la época de lluvias y secas.

5.16.2 Artrópodos de Chamela

En el Libro *Artrópodos de Chamela* (García Aldrete & Ayala Barajas, 2004) menciona que en Temascaltepec se identificaron un gran número de elementos neárticos en la fauna demostrado por la presencia de especies de las familias *Hydrobiosidae* (*Atopsyche calopta*, *A. dampfi*, *A. erigia* y *A. majada*) y *Lepidostomatidae* (*Lepidostoma frontale*, *L. kunulli* y *L. aztecum*), consideradas típicas representantes de la fauna neártica.

5.16.3 Análisis Geocositmico de la cuenca del Río Temascaltepec

Además, también se realizó el análisis geocositmico de la cuenca del Río Temascaltepec, realizado por Manzo y López (1997) el cual fue un ensayo metodológico elaborado en el marco de la ecología del paisaje, que permitió identificar la relación de los elementos naturales, de manera integral y sistémica, haciendo posible conocer la estructura y funcionamiento del geosistema de la cuenca hidrográfica del Río Temascaltepec.

Si bien, existe diversos estudios vegetales y de fauna, aun no se han realizado trabajos que profundicen acerca del estado ecológico dentro del Municipio como es el caso de la contaminación que afecta los diversos afluentes de la Subcuenca del Río Temascaltepec.

VI. ANTECEDENTES

En el estado de México se han llevado a cabo diferentes trabajos utilizando organismos como indicadores biológicos de la calidad del agua, además de la medición de los parámetros físico químicos, mismos que se relacionan con la presencia o ausencia de estos bioindicadores. A continuación, se enlistan diversos estudios realizados en México.

6.1 Comunidades algales de afluentes de la presa Valle de Bravo, Estado de México.

De acuerdo al trabajo realizado por Bojorge (2013) para obtener el grado de Doctora en Ciencias, en el cual tuvo como objetivo identificar, a diferentes escalas espaciales y temporales, los principales factores físicos y químicos y los posibles mecanismos ecológicos que regulan la composición específica y estructura fisonómica de la comunidad mediante el estudio de la comunidad de macroalgas y la comunidad de diatomeas bentónicas (asociadas a los crecimientos de macroalgas) de 4 afluentes de la cuenca de Valle de Bravo, muestreando en las épocas más contrastantes del año, reportó al término del estudio, que la diversidad algal es similar a la de otros ríos de montaña de la franja volcánica Trans-mexicana donde las algas rojas fueron el grupo con mayor número de especies y de mayor cobertura debiéndose a las condiciones de baja iluminación en los ríos estudiados resultado de la abundante vegetación de ribera que los rodea.

6.2 La contaminación en el Curso Alto del Río Lerma

En términos de calidad del agua, los resultados de los parámetros fisicoquímicos demuestran que el agua del Curso Alto del Río Lerma no cumple con las características mínimas necesarias para su uso como agua de riego ni mucho menos para la protección de la vida acuática, lo cual explica en parte la carencia de prácticamente toda vida acuática en esta zona del río. Los parámetros

fisicoquímicos que mejor reflejan la calidad del agua son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), la demanda química de oxígeno (DQO) y el oxígeno disuelto, los cuales indican la enorme carga orgánica que lleva este importante río, producto de las descargas no tratadas de aguas residuales municipales e industriales.

Con base en los resultados obtenidos es posible establecer que la calidad del agua de este río es muy baja debido principalmente a las descargas residuales industriales y urbanas no tratadas. El principal problema es la presencia en grandes cantidades de materia orgánica residual, la cual provoca una eutrofización del sistema. Aunque los metales pesados no son un grave problema es necesario, sin embargo, implementar medidas para el control de metales como el cromo, cobre y zinc, así como para la disposición adecuada de los lodos dragados de dicho río. Es necesario implementar de inmediato acciones urgentes tendientes a controlar y reducir los enormes impactos que se generan en este río (Ávila *et al.*, 2003).

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Área de estudio

El monitoreo biológico se realizó en La Subcuenca del Río Temascaltepec, ubicada en el Municipio de Temascaltepec al sur del Estado de México (Fig. 1), situada entre las coordenadas 19° 03' LN y 100° 02' LO, La altitud promedio del municipio es de 1,740 msnm (Municipios.mx, 2017).



Figura 1. Localización del Municipio de Temascaltepec

Los ríos principales de la Subcuenca del Río Temascaltepec son El Verde, El Vado y el Godínez, los cuales son afluentes del Río Cutzamala,

El Río Verde y el Río Vado se originan de los deshielos del volcán Xinantécatl y se unen a la altura de la cabecera municipal, formando una sola corriente que lleva por nombre Río Temascaltepec, que aguas abajo algunos autores denominan Río Grande.

La Subcuenca del Río Temascaltepec, cubre una superficie de aproximadamente 1,224 km² y es irrigada por 24 afluentes, siendo el Río Temascaltepec el más importante (Fig. 2) (Borboa 1999; Simón 2003) citado por (Guerrero *et al.*, 2013).

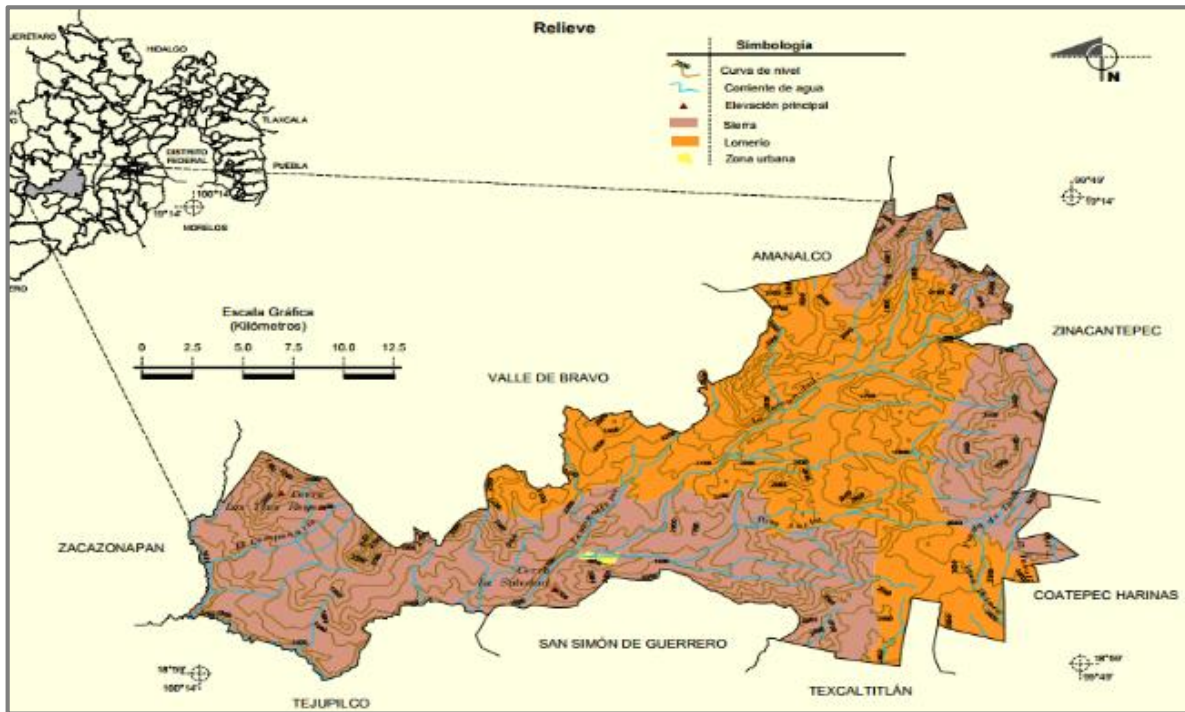


Figura 2. Afluentes que constituyen la Subcuenca del Río Temascaltepec
Fuente: (INEGI, 2009)

7.1.1 Tipo de suelo en la zona de estudio

Los tipos de suelos que convergen en la zona urbana donde se realizó el estudio son los siguientes:

En la sección noreste predomina el tipo cambisol eutrico, asociado con acrisol ortico y cambisol ortico, la textura es media y presenta una fase física lítica. Cubre las zonas que se localizan por arriba del arroyo Verde. Estos suelos se caracterizan por presentar una capa de acumulaciones que forman terrones, además pueden presentar algunos materiales dispersos como arcilla, carbonato de calcio, hierro, manganeso, etc., pero sin que esta acumulación sea muy abundante. La susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta (Borboa, 1999).

En la mayor extensión del centro urbano se caracteriza por el tipo cambisol eutríco asociado con Litosol, la textura es de tipo media y presenta una fase física lítica, cubre todo el centro urbano. En el margen occidental del centro urbano se caracteriza por un suelo acrisol ortico asociado con Regosol Eutríco, con textura media y fase física lítica (Borboa, 1999).

7.1.2 Uso de suelo en la zona de estudio

El uso del suelo que se da en el área de influencia a este centro urbano es boscoso en las zonas noreste, oriente y sureste, mientras que los puntos noroeste, occidente y suroeste predomina el uso pecuario.

La porción centro occidental de la localidad está rodeada por zonas de pastizal inducido asociado con vegetación de chaparral, primordialmente hacia el extremo occidental de Temascaltepec. Las especies que caracterizan a este tipo de vegetación son *Salvia* spp, *Lupinus* spp, *Adiantum* spp, etc. (Borboa, 1999).

7.1.3 Clima predominante en la zona de estudio

En el poblado de Temascaltepec prevalece el clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (ACw2), la temperatura promedio anual varía entre 18 y 22 °C y la precipitación media anual es de 1,375 mm, donde la máxima incidencia de lluvias se presenta de junio a septiembre y la menor de diciembre a marzo, lo que indica que en esta población, el clima ofrece ventajas para los asentamientos humanos (Borboa, 1999).

El estudio se elaboró en los Ríos Verde, Vado y Temascaltepec. El tiempo de estudio comprendió dos épocas; época secas-frío que abarcó de febrero a marzo, y la época cálida-inicio de lluvias durante mayo y junio de 2018.

7.2 Descripción de las estaciones y sitios de muestreo

El estudio se realizó en 3 estaciones, las estaciones se seleccionaron de acuerdo a los principales ríos que atraviesan el centro de la zona urbana del municipio (Verde, Vado y Temascaltepec) a lo largo de su cauce. En cada estación se eligieron 2 sitios de estudio, considerando entre sitio y sitio una distancia menor de 5 km y una ubicación en puntos estratégicos para diferenciar la calidad del agua (Fig. 3), es decir, donde existiera baja influencia antropogénica y alta influencia antropogénica.

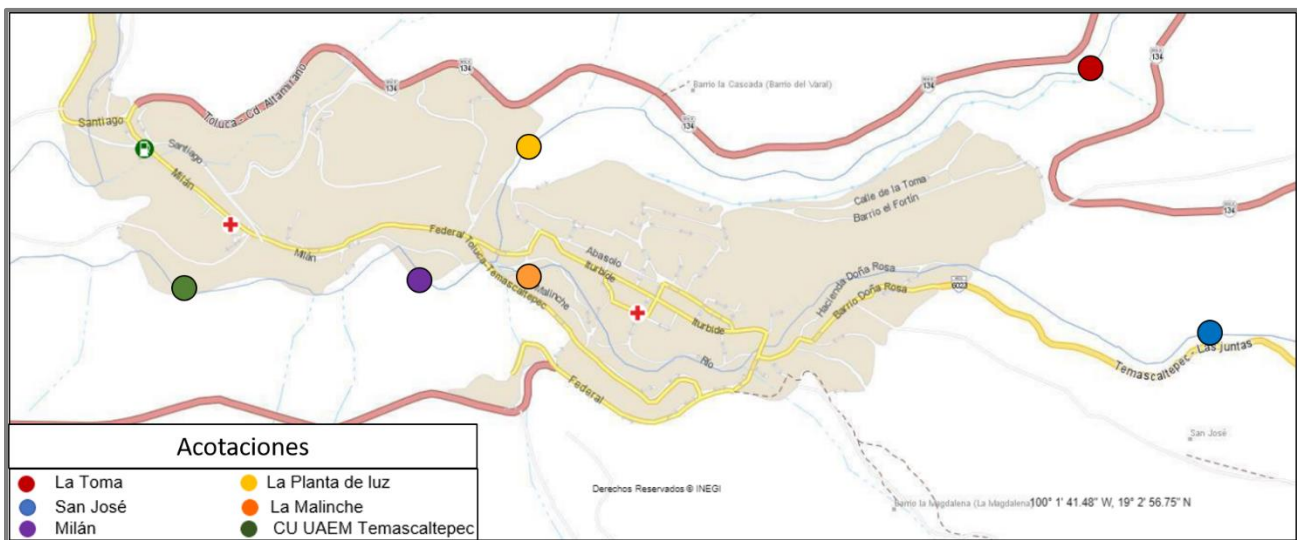


Figura 3. Sitios de muestreo en la Subcuenca del Río Temascaltepec
Fuente. Mapa Digital INEGI

Se determinaron 6 sitios de muestreo, 2 por cada estación. La Tabla 2 presenta el nombre de cada estación y de los sitios de muestreo.

Tabla 2. Estaciones y sitios de muestreo de la Subcuenca del Río Temascaltepec.

Estación	No. De Sitio	Nombre
Río Verde	1	La Toma
	2	La Planta de Luz
Río vado	3	San José
	4	La Malinche
Río Temascaltepec	5	Milán
	6	CU UAEM Temascaltepec

7.2.1 Caracterización de las estaciones y sitios de muestreo

7.2.1.1 Estación Río Verde

Los dos sitios de esta esta estación se describen a continuación.

Sitio 1 La Toma. La Toma se localiza en las coordenadas 19°02'53" LN y 100°01'55" LO, en este sitio el agua del cauce del Río Verde recorre en su trayecto la comunidad de Carboneras y se desvía a través de un canal de conducción hacia los tanques que alimentan la planta hidroeléctrica, presenta aguas claras (Fig.4).



Figura 4. Sitio 1 La Toma

Sitio 2 Planta de Luz. Este sitio se localiza en las coordenadas 19°02'47" LN y 100°02'40" LO, en él desembocan el excedente del agua de la hidroeléctrica y el cauce del río de La Toma, además son vertidos los desechos urbanos de los barrios la Cascada y el Varal. El color del agua que se aprecia a simple vista es turbio y con olor a drenaje (Fig. 5).



Figura 5. Sitio 2 Planta de Luz

7.2.1.2 Estación Río Vado

Conformada por los sitios San José y La Malinche

Sitio 3 San José. Este sitio se encuentra ubicado en las coordenadas 19°02'38" LN y 100°01'14" LO, atraviesa una pequeña zona a las afueras del poblado de Real de Arriba, sus aguas son claras, y existe poca interacción urbana con este afluente (Fig. 6).



Figura 6. Sitio 3 San José

Sitio 4 La Malinche. Ubicada dentro de las coordenadas 19°02'39" LN y 100°02'40" LO, es el afluente que recibe las descargas de la red de drenaje proveniente de toda la cabecera municipal de Temascaltepec. Presenta olor a materia fecal y aguas turbias en determinadas zonas (Fig. 7).



Figura 7. Sitio 4 La Malinche

7.2.1.3 Estación Río Temascaltepec

Esta estación se encuentra integrada por los sitios de muestreo Milán y CU UAEM Temascaltepec

Sitio 5 Milán: Se caracteriza por la unión de los ríos Verde y Vado, localizado a 19°02'37" LN y 100°02'47" LO, tiene un olor característico a drenaje, además de llevar poca corriente (Fig. 8).



Figura 8. Sitio 5 Milán

Sitio 6 CU UAEM Temascaltepec. Este sitio de estudio se ubica dentro de las coordenadas 19°02'37" LN y 100°03'03" LO, se caracteriza por corrientes rápidas, agua poco turbia con algunas zonas con olor a drenaje además de presencia de basura (Fig. 9).



Figura 9. Sitio 6 CU UAEM Temascaltepec

7.3 Muestreo y determinación de parámetros físicos y químicos del agua *in situ*.

La forma de muestreo consistió en un segmento horizontal de 10 metros de longitud del cauce del río. En cada segmento se midieron 6 variables: T°C, oxígeno, pH, intensidad de luz, profundidad y velocidad de corriente.

En cada sitio de las estaciones, en el segmento, se determinó un punto de muestreo cada 2 metros lo cual representó una repetición (5 repeticiones por segmento). En cada punto se midió la profundidad, introduciendo una barra de madera con 1 metro de longitud graduada en cm (Fig. 10). La Temperatura del agua (T °C) y el oxígeno disuelto se tomaron utilizando un monitor de Oxígeno-Temperatura modelo OT-21 DEMISTA INSTRUMENTS (Fig. 11). El potencial de Hidrógeno (pH) se midió con un pH-metro NESTER INSTRUMENTS (Fig. 12) y la intensidad de luz con un Tester Medidor de pH y Luz (Fig. 13).



Figura 10. Medición de profundidad con barra de madera graduada (1 metro)



Figura 11. Toma de temperatura del agua (T °C) y el oxígeno disuelto utilizando monitor de Oxígeno-Temperatura modelo OT-21 DEMISTA INSTRUMENTS



Figura 12. pH-metro NESTER INSTRUMENTS para la medición del potencial de Hidrógeno



Figura 13. Tester Medidor de pH y Luz. Para medir la intensidad de luz

La velocidad de corriente del río se determinó utilizando un cuerpo flotante (pelota de espuma) y considerando el tiempo (segundos) que duró en recorrer la pelota el segmento de 10 metros, lo cual se repitió 5 veces en cada segmento para obtener un promedio (Fig. 14). Se utilizó la siguiente ecuación:

$$V = ((t1 + \dots + t5)/r)/d$$

Donde:

V: velocidad de corriente

t: Tiempo medido en segundos

r: repeticiones (5)

d: distancia del segmento (10 mts)

La velocidad de corriente se midió donde se colectaron las macroalgas.

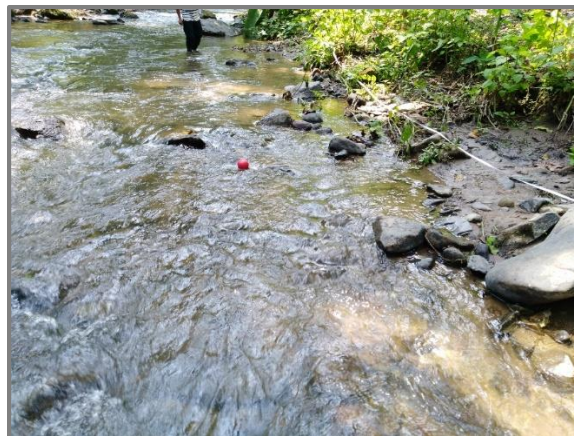


Figura 14. Medición de la velocidad de corriente

7.4 Medición de parámetros químicos en laboratorio

En cada sitio se tomó una muestra al azar de 1 litro de agua, la cual se colocó en frascos de polipropileno, previamente lavados con ácido clorhídrico al 10%.

Las muestras se taparon, se etiquetaron y transportaron en bolsas herméticas con hielo al laboratorio de suelos del CU UAEM Temascaltepec, para la determinación de amonio (NH_4), nitrito (NO_2) y fósforo.

La determinación de iones (NH_4 , fósforo y NO_2) se realizó mediante equipo HANNA Instruments HI-83215-02 Nutrient Analysis Photometer, por lo cual se tomaron 50 ml de muestra y se filtraron con papel filtro Whatman 5 (diámetro 125mm) en un matraz de 200 ml. Se utilizaron 10 ml de muestra filtrada.

7.5 Muestreo de macroalgas

7.5.1 Cobertura de macroalgas

La colecta de macro algas se realizó en el periodo de febrero a mayo de 2018, considerando la época de Secas e Inicio de Lluvias. El sitio de colecta se ubicó dentro de la zona donde se tomaron las muestras de agua. El sitio de muestreo consistió en un segmento de 10 metros de longitud. En cada segmento se muestrearon la cobertura de macroalgas en 5 cuadrantes cada uno separado por 2 metros (Carmona *et al.*, 2016) y en cada cuadrante se tomó una unidad de muestreo, realizada con un visor circular de policloruro de vinilo con un área de 572.6 cm^2 ($A = \pi r^2$) donde A es el Área del círculo, π es 3.14 y r es 13.5 y una cubierta plástica transparente dividida en porcentajes sumando un total de 100% para determinar la cobertura *in situ* de cada crecimiento algal (Fig. 15).

El visor se sumergió 5 veces, una por cada cuadrante. La suma de los 5 cuadrantes representó el 500% para determinación de la cobertura Total de cada macroalga presente. Este porcentaje se transformó a área de cobertura de algas por segmento y cobertura total de algas utilizando las siguientes fórmulas:

7.5.1.1 Cobertura algal por cuadrante

Para obtener la cobertura algal por segmento se realizó la siguiente ecuación

$$A: \left(\frac{\%cuadrante * area visor cm^2}{100\%} \right)$$

Donde:

A: Área de cobertura

%cuadrante: porcentaje obtenido por cada cuadrante por alga (0 a 100%)

Área visor: 572.26cm²

7.5.1.2 Cobertura Algal total por sitio

Para obtener la cobertura algal total por sitio se realizó la siguiente ecuación

$$A: \left(\frac{\%Total * area visor cm^2}{500\%} \right)$$

Dónde:

A: área de cobertura

% Total: Suma de los porcentajes del total de cuadrantes (0 a 500%)

Área visor: 572.26 * 5



Figura 15. Obtención de porcentaje de cobertura

7.5.2 Identificación de macroalgas

Las algas visibles localizadas en cada cuadrante se colectaron mediante el raspado de sustratos (rocas). Cada especie de macroalga colectada se depositó en bolsas herméticas Ziploc® a las cuales se les depositó agua corriente del río, se etiquetaron, anotando el sitio, fecha de colecta y el porcentaje de cobertura por cuadrante (Fig. 16 y 17). Las muestras de macroalgas se trasladaron en vivo, se refrigeraron a 4°C en la oscuridad. Posteriormente para su identificación se fijaron con formol al 3%. La identificación de las especies se realizó mediante comparaciones de especies, en el laboratorio de Ecología de algas de la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI) Campus Juriquilla, UNAM y en el Laboratorio de Botánica del CU UAEM Temascaltepec utilizando un microscopio estereoscópico.



Figura 16 y 17. Etiquetado de muestras algales

7.6 Muestreo de macroinvertebrados

Al final de la toma de muestras de macroalgas se tomó una muestra de los macroinvertebrados presentes en 1 m³ del cauce de cada sitio con el método de recolección cuantitativo Red Surber: donde se utilizó un marco metálico de 28 x 40 cm, con una abertura de malla de aproximadamente 500 µm. El marco se colocó sobre el fondo y en contra de la corriente y con las manos se removió el material del

fondo (Fig. 18) (piedra, arena, lodo, restos de vegetación, raíces sumergidas de árboles y sustratos artificiales como restos de basura, diques, etc.) (Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014), quedando atrapados los organismos en la red (Fig. 19). Esta operación se repitió al menos tres veces en cada sitio de muestreo. Todo el material colectado se vació en un recipiente con alcohol al 70% para ser separado manualmente cada ejemplar en el laboratorio para su clasificación (Fig. 20)



Figura 18. Muestreo de macroinvertebrados



Figura 19. Macroinvertebrados atrapados en red Surber



Figura 20. Macroinvertebrados en alcohol al 70%

7.6.1 Identificación de familia de macroinvertebrados

Una vez capturados los macroinvertebrados, se llevaron al laboratorio de Botánica del CU UAEM Temascaltepec para su debida identificación. Posteriormente para clasificar la calidad biológica del agua se procedió a calcular el índice de BMWP/Col (biological monitoring working part), donde se les asignó un valor de bioindicación a cada una de las familias taxonómicas de macroinvertebrados encontrados.

Para la clasificación de macroinvertebrados se utilizaron 4 guías.

- Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia, por Roldán (1996).
- Guía de campo Macroinvertebrados de la Cuenca del Ebro, realizada por la confederación Hidrográfica del Ebro, España, 2009.
- Libro “Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua” elaborado por Roldán (2012).
- Artículo de la revista Biología Tropical, Volumen 58. “Introducción a los grupos de Macroinvertebrados acuáticos” elaborado por Hanson, Springer y Ramírez, diciembre 2010.

7.6.2 Cálculo del índice BMWP

Para asignar los valores a emplear en el método BMWP se utilizó la familia de los especímenes recolectados de acuerdo a Roldan (2012) (Tabla 3). El método requiere llegar a nivel de familia, los datos son cualitativos. El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo a la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles reciben un puntaje de diez; en cambio, las más tolerantes a la contaminación reciben un puntaje de uno. La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP (Tabla 4).

Tabla 3. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.

Familias	Puntaje
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.</i>	10
<i>Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.</i>	9
<i>Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.</i>	8
<i>Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.</i>	7
<i>Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.</i>	6
<i>Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.</i>	5
<i>Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.</i>	4
<i>Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.</i>	3
<i>Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae.</i>	2
<i>Tubificidae</i>	1

(Roldán, 2012)

Tabla 4. Calidad del agua de acuerdo al puntaje BMWP/Col.

Puntaje BMWP	Calidad del agua
10	Los organismos con este puntaje de bioindicación son propios de aguas muy limpias.
9	Los organismos con este puntaje son característicos de aguas limpias
8	Los organismos con este puntaje son, en su mayoría, característicos de aguas limpias, aunque pueden presentarse algunos de aguas poco contaminadas.
7	Los organismos con este puntaje son característicos de aguas poco contaminadas.
6	Los organismos con este puntaje en su mayoría característicos de aguas poco contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas moderadamente contaminadas.
5	Los organismos con este puntaje son en su mayoría característicos de aguas poco contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas moderadamente contaminadas.
4	Los organismos con este puntaje son, en su mayoría, característicos de aguas moderadamente contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas contaminadas.
3	Los organismos con este puntaje son, en su mayoría, característicos de aguas contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas muy contaminadas.
2	Los organismos con este puntaje son característicos de aguas muy contaminadas
1	Los organismos con este puntaje son característicos de aguas altamente contaminadas.

(Roldán, 2012)

La Tabla 5 muestra las cinco clases de calidad del agua resultantes de sumar la puntuación obtenida por las familias encontradas en un ecosistema acuático.

El total de los puntos se designa como valores BMWP/Col. De acuerdo con el puntaje obtenido en cada situación, se califican las distintas clases de agua, asignándoles a cada una de ellas un color determinado. Este color es el que se usa luego para marcar los ríos y corrientes en el mapa de la región estudiada (Roldán, 2012).

Tabla 5. Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col, significado y colores para representaciones cartográficas.

<i>Clase</i>	<i>Calidad</i>	<i>BMWP/Col</i>	<i>Significado</i>	<i>Color</i>
I	Buena	>150 101-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

(Roldán, 2012)

7.7 Análisis de la información

7.7.1 Características físicas y químicas

Los datos obtenidos de las variables en cada sitio (temperatura (T°C), pH, oxígeno, intensidad de luz, velocidad de corriente, amonio, nitrato y fósforo), se analizaron mediante la obtención de promedios, considerando el valor mínimo, máximo y su desviación estándar (Steel & Torrie, 1989).

Asimismo, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) a través de un modelo lineal general en el programa MINITAB (Minitab, 2000) (Steel & Torrie, 1989), considerando las variables estación, sitio de muestreo, época y parámetros físico-químicos, para determinar las diferencias significativas entre variables.

El modelo utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + Est_i + S_j + Epoc_k + Error_{ijk}$$

Y_{ijk} = T°C, pH, oxígeno, intensidad de luz, velocidad de corriente, amonio, nitrato y fósforo.

μ = efecto de la media general

Est_i = efecto de la estación

S_j = efecto del sitio de muestreo

$Epoc_k$ = efecto de la época de muestreo

$Error_{ijk}$ = error aleatorio

7.7.2 Macroalgas

Detectar diferencias espaciales y temporales de los parámetros fisicoquímicos y de la comunidad algal.

Identificación taxonómica de las especies de macroalgas encontradas en cada sitio de muestreo.

7.7.3 Macroinvertebrados

Identificación taxonómica de las familias de macroinvertebrados por sitios de estudio.

Se aplicó el Índice BMWP/Col para determinar la calidad del agua de los diferentes sitios de muestreo.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Características físicas y químicas de los sitios.

De los resultados espacio temporales del estudio de campo de cada uno de los sitios de muestreo de cada estación, se elaboraron las siguientes matrices para la época secas-frío (Tabla 6 y 6.1) y época cálida-inicio de lluvias (Tabla 7 y 7.1) que muestran los valores máximos, mínimos y desviación estándar de los parámetros medidos.

En relación a los datos ambientales, la temperatura (°C) a lo largo de las épocas de muestreo fue variando, presentando un mínimo de 13°C en la época secas-frío (Tabla 6) y un máximo de 21°C en la época cálida-inicio de lluvias (Tabla 7).

Con base a los registros de la temperatura del agua, en el presente trabajo se identificó el periodo invernal bien marcado con la menor temperatura en el primer muestreo.

Para la intensidad luminosa, existió un mínimo de 400 lumen en la época secas-frío y un máximo registrado de 1500 lumen en la época cálida-inicio de lluvias.

La radiación solar no solamente determina la calidad y cantidad de luz, sino que también afecta la temperatura del agua. Mientras que en las zonas templadas la temperatura varía ampliamente con el cambio de estaciones, en las zonas tropicales permanece más o menos constante a lo largo del año, siempre frías en las altas montañas y cálidas a nivel del mar (Roldán, 2012).

El pH mínimo registrado fue de 6.0 en el sitio de muestreo San José en la época secas-frío y un máximo de 8.38 en sitio la Toma en la época cálida-inicio de lluvias.

Además, en relación a la cantidad de nutrientes presentes en el agua, se obtuvo que el sitio La Malinche presentó la mayor cantidad de Amonio, tanto en la época secas-frío como en la época cálida-inicio de lluvias con 31 y 26 mg/L respectivamente. De acuerdo a Roldán (2012), en un medio acuático natural se espera encontrar la mayoría del nitrógeno como nitratos, que es su forma oxidada. La presencia de nitritos y de amonio, es un indicio de reciente contaminación orgánica o de procesos reductivos predominantes.

La contaminación orgánica y la agricultura son las fuentes principales de nitrógeno en el agua. Un exceso de nitrógeno desencadena un proceso de eutrofización, el cual se manifiesta por un crecimiento masivo de algas y plantas acuáticas.

En relación al fósforo, se obtuvieron las mayores concentraciones registradas en el sitio La Planta durante la época de secas-frío con un total de 11 mg/L y en el sitio La Malinche durante la época cálida-inicio de lluvias con un total de 10mg/L. No obstante, en comparación con el nitrógeno, la abundancia es diez veces menor, pero su efecto sobre la eutrofización es mucho mayor, pues cantidades del orden de milésimas de miligramo, pueden activar crecimientos de fitoplancton que afectan significativamente la estructura y funcionamiento del ecosistema acuático (Roldán, 2012).

De acuerdo a Roldan (2012), el vertimiento de las aguas residuales domésticas y el uso excesivo de abonos en la agricultura son las fuentes principales de fósforo y nitrógeno y, por tanto, de eutrofización de los ecosistemas acuáticos. En esencia, los efectos producidos por estos dos nutrientes son similares y crean condiciones adversas para la vida de la mayoría de los organismos acuáticos.

Tabla 6. Valores mínimos, máximos y desviación estándar de los parámetros físicos y químicos obtenidos en la época de muestreo secas-frío.

Valores mínimos, máximos y desviación estándar de los parámetros físicos y químicos obtenidos en la época de muestreo secas-frío.																		
Variable	estación Río Verde						estación Río Vado						estación Río Temascaltepec					
	La Toma			La Planta de Luz			San José			La Malinche			Milán			CU UAEM Temascaltepec		
	min	máx.	DesV	min	máx.	DesV	min	máx.	DesV	min	máx.	DesV	min	máx.	DesV	min	máx.	DesV
T °C	14	14	0	14	14	0	15	16	0.55	15	16	0.45	14	15	0.55	13	14	0.45
oxígeno	13	13	0	15	18	1.34	13	14	0.45	13	14	0.55	12	14	0.84	22	25	1.22
intensidad luminosa (Lumen)	650	750	41.83	550	650	41.83	250	450	75.83	400	500	35.35	400	500	50	450	550	44.72
pH	7.7	7.9	0.09	6.1	6.4	0.13	6	6.6	0.24	6.7	7.8	0.45	6.5	7.1	0.22	6.4	7.2	0.3
velocidad de corriente (m/seg)	0.43	0.67	0.09	0.51	0.79	0.10	0.48	0.63	0.07	0.47	0.65	0.072	0.37	0.43	0.02	0.30	0.84	0.23
profundidad (cm)	22	30	7.71	25	50	10.28	21	29	3.27	17	32	6.02	37	48	4.42	38	47	3.65

Tabla 6.1 Valores de nutrientes por estación y sitio de muestreo. Época secas-frío

Variable	Época secas-frío					
	estación Río Verde		estación Río Vado		estación Río Temascaltepec	
	La Toma	La Planta	San José	La Malinche	Milán	CU UAEM Temascaltepec
fósforo (mg/L)	5	11	6	8	4	5
amonio (NH3) (mg/L)	9	0	10	31	3	7
nitrateo (mg/L)	6	2	0	0	0	0

Tabla 7. Valores mínimos, máximos y desviación estándar de los parámetros físicos y químicos obtenidos en la época de muestreo cálida-inicio de lluvias.

Valores mínimos, máximos y desviación estándar de los parámetros físicos y químicos obtenidos en la época de muestreo cálida-inicio de lluvias																		
Variable	estación Río Verde						estación Río Vado						estación Río Temascaltepec					
	La Toma			La planta de Luz			San José			La Malinche			Milán			CU UAEM Temascaltepec		
	min	máx.	s.	min	máx.	s	min	máx.	s	min	máx.	s	min	máx.	S	min	máx.	S
T °C	20	21	0.45	16	18	1.09	16	17	0.55	19	20	0.45	17	18	0.45	17	19	0.84
Oxígeno	8	14	2.30	13	15	0.55	11	14	1.14	13	18	2.07	15	19	1.67	14	18	1.64
Intensidad Luminosa (Lumen)	600	1500	371.48	400	500	44.72	250	750	221.92	600	900	122.47	500	650	65.19	550	650	35.35
pH	8.02	8.38	0.13	7.9	8.6	0.28	8.16	8.48	0.13	7	8.3	0.50	7.77	8.13	0.13	7.89	8.25	0.16
Velocidad de corriente (m/s)	0.82	1.31	0.19	0.45	0.57	0.05	0.36	0.60	0.10	0.70	0.83	0.06	0.69	0.83	0.05	0.54	0.61	0.03
Profundidad (cm)	21	52	14.1	35	47	4.72	28	40	4.38	37	43	2.41	20	23	1.34	33	45	4.98

Tabla 7.1 Valores de Nutrientes por estación y sitio de muestreo. Época cálida-inicio de lluvias

Época cálida-inicio de lluvias						
Variable	estación Río Verde		estación Río Vado		estación Río Temascaltepec	
	La Toma	La Planta	San José	La Malinche	Milán	CU UAEM Temascaltepec
Fósforo (mg/L)	8	8	5	10	4	5
Amonio (NH3) (mg/L)	8	7	7	26	10	6
Nitrato (mg/L)	0	4	4	0	0	10

El análisis de varianza de las variables medidas en cada sitio en las diferentes estaciones se presentan a continuación, donde se muestra la diferencia espacial y temporal de cada una.

8.1.1 Análisis de la temperatura (T°C)

En la temperatura existió diferencia significativa entre estaciones (P=0.035). La estación Río Vado y Río Verde presentaron mayor temperatura en el agua. Entre las épocas de muestreo existió diferencia significativa, se observó que en las tres estaciones la temperatura del agua incrementó en la época cálida (P= 0.0001)). Entre sitios no existió diferencia significativa (P= 0.441) (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de la temperatura.

Estación	Sitio	Época	T°C	Media estación	Media época	
					secas-frío	cálida/lluvias
Río Verde	La Toma	secas-frío	14	16.4 ^{ab}	14 ^B	18.8 ^A
	La Toma	cálida/lluvias	20.8			
	La Planta	secas-frío	14			
	La Planta	cálida/lluvias	16.8			
Río Vado	San José	secas-frío	15.4	16.75 ^a	15.6 ^B	17.9 ^A
	San José	cálida/lluvias	16.6			
	La Malinche	secas-frío	15.8			
	La Malinche	cálida/lluvias	19.2			
Río Temascaltepec	Milán	secas-frío	14.4	15.65 ^b	13.8 ^B	17.5 ^A
	Milán	cálida/lluvias	17.2			
	CU UAEM	secas-frío	13.2			
	CU UAEM	cálida/lluvias	17.8			
Valor de P=				0.035	0.0001	

Valor de P>0.05 no difiere estadísticamente, Valor de P<0.05 difiere estadísticamente

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente

Medias con diferente letra, difieren estadísticamente

a b = comparación de medias entre estaciones.

A B = comparación de medias entre épocas por estación.

8.1.2 Análisis del oxígeno (O₂)

El oxígeno varió respecto a la estación; por ejemplo, la estación Río Verde no fue diferente a la estación Río Vado (P=0.908) pero estas dos estaciones son diferentes a la estación de Río Temascaltepec (P= 0.0001). Se presentó diferencia entre los sitios de cada estación (P= 0.0001). No existió diferencia significativa entre época de muestreo (P=0.117) (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis del oxígeno.

Estación	Sitio	Época	Oxígeno	Media estación	Media sitio	
					1	2
Río Verde	La Toma ₁	secas-frío	13	13.35 ^b	12.2 ^B	14.5 ^A
	La Toma ₁	cálida/lluvias	11.4			
	La Planta ₂	secas-frío	15.6			
	La Planta ₂	cálida/lluvias	13.4			
Río Vado	San José ₁	secas-frío	13.2	13.65 ^b	12.9 ^B	14.4 ^A
	San José ₁	cálida/lluvias	12.6			
	La Malinche ₂	secas-frío	13.4			
	La Malinche ₂	cálida/lluvias	15.4			
Río Temascaltepec	Milán ₁	secas-frío	12.8	17.1 ^a	14.6 ^B	19.6 ^A
	Milán ₁	cálida/lluvias	16.4			
	CU UAEM ₂	secas-frío	23			
	CU UAEM ₂	cálida/lluvias	16.2			
Valor de P=				0.0001	0.0001	

Valor de P>0.05 no difiere estadísticamente, Valor de P<0.05 difiere estadísticamente

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente

Medias con diferente letra, difieren estadísticamente

a b = comparación de medias entre estaciones

A B = comparación de medias entre sitios por estación.

Sitio 1= La Toma-San José-Milán Sitio 2= La Planta-La Malinche-CU UAEM Temascaltepec

8.1.3 Análisis de la profundidad

La variable profundidad no presentó cambios entre las estaciones ($P=0.200$) ni épocas de muestreo ($P=0.523$). Se presentó diferencia significativa entre los sitios de muestreo respecto a cada estación ($p= 0.021$), donde el sitio 2 de cada estación presentaba mayor profundidad (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de la profundidad.

Estación	Sitio	Época	Profundidad (cm)	Media sitio	
				1	2
Río Verde	La Toma ₁	secas-frío	30	32.8 ^B	37.8 ^A
	La Toma ₁	cálida/lluvias	35.6		
	La Planta ₂	secas-frío	34.2		
	La Planta ₂	cálida/lluvias	41.4		
Río Vado	San José ₁	secas-frío	26.6	30.2 ^B	32.6 ^A
	San José ₁	cálida/lluvias	33.8		
	La Malinche ₂	secas-frío	25.6		
	La Malinche ₂	cálida/lluvias	39.6		
Río Temascaltepec	Milán ₁	secas-frío	42	31.7 ^B	40 ^A
	Milán ₁	cálida/lluvias	21.4		
	CU UAEM ₂	secas-frío	42.6		
	CU UAEM ₂	cálida/lluvias	37.4		
Valor de P=				0.021	

Valor de $P>0.05$ no difiere estadísticamente, Valor de $P<0.05$ difiere estadísticamente

Medias con la misma letra, no difieren estadísticamente entre sí.

Medias con diferente letra, difieren estadísticamente

A B = comparación de medias entre sitios por estación.

Sitio 1= La Toma-San José-Milán Sitio 2= La Planta-La Malinche-CU UAEM Temascaltepec

8.1.4 Análisis del pH

En el análisis del potencial de Hidrógeno, existió diferencia significativa entre las épocas de muestreo ($P= 0.0001$), presentando un pH mayor a 8.0 en la época cálida-inicio de lluvias. Entre sitios ($P=0.195$) y estaciones de muestreo ($P=0.310$) no se presentó diferencia significativa (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis del pH

Estación	Sitio	Época	pH	Media época	
				secas-frío	cálida- lluvias
Verde Río	La Toma	secas-frío	7.8	7 ^B	8.15 ^A
	La Toma	cálida/lluvias	8.1		
	La Planta	secas-frío	6.2		
	La Planta	cálida/lluvias	8.2		
Río Vado	San José	secas-frío	6.3	6.8 ^B	8.1 ^A
	San José	cálida/lluvias	8.3		
	La Malinche	secas-frío	7.3		
	La Malinche	cálida/lluvias	7.9		
Río Temascaltepec	Milán	secas-frío	6.8	6.8 ^B	8 ^A
	Milán	cálida/lluvias	7.9		
	CU	secas-frío	6.8		
	UAEM	secas-frío	6.8		
	CU UAEM	cálida/lluvias	8.1		
Valor de P=				0.0001	

Valor de $P>0.05$ no difiere estadísticamente, Valor de $P<0.05$ difiere estadísticamente

Medias con la misma letra, no difieren estadísticamente entre sí.

Medias con diferente letra, difieren estadísticamente entre sí.

A B = comparación de medias entre épocas por estación.

8.1.5 Análisis de la intensidad luminosa

Para la intensidad luminosa, existió diferencia significativa entre estaciones de muestreo donde, la estación Río Verde fue diferente a las estaciones Río Vado ($P=0.0411$) y Río Temascaltepec ($P=0.0332$), pero estas dos últimas fueron similares ($P=0.9958$). La intensidad luminosa en los sitios de muestreo fue similar ($P>0.05$) y entre épocas presentó diferencia significativa ($P=0.0013$) (Tabla 12).

Tabla 12. Análisis de la intensidad luminosa.

Estación	Sitio	Época	Int. Lum.	Media estación	Media época	
					secas-frío	cálida-lluvias
Río Verde	La Toma	secas-frío	710	677.5a	650 ^B	705 ^A
	La Toma	cálida/lluvias	940			
	La Planta	secas-frío	590			
	La Planta	cálida/lluvias	470			
Río Vado	San José	secas-frío	330	532.5b	390 ^B	675 ^A
	San José	cálida/lluvias	550			
	La Malinche	secas-frío	450			
	La Malinche	cálida/lluvias	800			
Río Temascaltepec	Milán	secas-frío	450	530b	465 ^B	595 ^A
	Milán	cálida/lluvias	590			
	CU UAEM	secas-frío	480			
	CU UAEM	cálida/lluvias	600			
Valor de P=				0.019	0.001	

Valor de $P>0.05$ no difiere estadísticamente, Valor de $P<0.05$ difiere estadísticamente

Medias con diferente letra, difieren estadísticamente entre sí.

a b = comparación de medias entre estaciones

A B = comparación de medias entre épocas por estación

8.1.6 Análisis de la velocidad de corriente

En la velocidad de corriente se encontró diferencia significativa entre las estaciones de muestreo, donde la estación Río Verde fue similar a la estación Río Vado ($P=0.161$) pero diferente a la estación Río Temascaltepec ($P= 0.0181$), las estaciones Río Vado y Temascaltepec fueron similares ($P=0.604$). La velocidad de corriente entre los sitios de muestreo no presentó diferencia ($P=0.365$). La época cálida-inicio de lluvias presentó mayor velocidad de corriente ($P= 0.0006$) (Tabla 13).

Tabla 13. Análisis de la velocidad de corriente.

Estación	Sitio	Época	Velocidad de corriente (m/s)	Media estación	Media época	
					secas-frío	cálida-lluvias
Río Verde	La Toma	secas-frío	0.56	0.6875 ^a	0.615 ^B	0.76 ^A
	La Toma	cálida/lluvias	1.01			
	La Planta	secas-frío	0.67			
	La Planta	cálida/lluvias	0.51			
Río Vado	San José	secas-frío	0.54	0.585 ^{ac}	0.545 ^B	0.625 ^A
	San José	cálida/lluvias	0.48			
	La Malinche	secas-frío	0.55			
	La Malinche	cálida/lluvias	0.77			
Río Temascaltepec	Milán	secas-frío	0.39	0.535 ^{bc}	0.405 ^B	0.665 ^A
	Milán	cálida/lluvias	0.76			
	CU UAEM	secas-frío	0.42			
	CU UAEM	cálida/lluvias	0.57			
Valor de P=				0.022	0.001	

Valor de $P > 0.05$ no difiere estadísticamente, Valor de $P < 0.05$ difiere estadísticamente

Medias con la misma letra, no difieren estadísticamente entre sí.

Medias con diferente letra, difieren estadísticamente entre sí.

a b = comparación de medias entre estaciones

A B = comparación de medias entre épocas por estación

8.1.7 Análisis del amonio

En la medición del amonio existió diferencia significativa entre las estaciones de muestreo, donde la estación Río Verde fue diferente a la estación Río Vado ($P=0.002$) y esta a su vez presentó diferencia significativa con la estación Río Temascaltepec ($P=0.0016$). Las estaciones Río Verde y Río Temascaltepec fueron similares ($P=0.744$). Entre sitios ($P=0.082$) y épocas de muestreo ($P=0.882$) no se presentó diferencia significativa (Tabla 14).

Tabla 14. Análisis del amonio.

Estación	Sitio	Época	Amonio (mg/l)	Media estación
Río Verde	La Toma	secas-frío	9	6 ^b
	La Toma	cálida/lluvias	8	
	La Planta	secas-frío	0	
	La Planta	cálida/lluvias	7	
Río Vado	San José	secas-frío	10	18.5 ^a
	San José	cálida/lluvias	7	
	La Malinche	secas-frío	31	
	La Malinche	cálida/lluvias	26	
Río Temascaltepec	Milán	secas-frío	9	8 ^b
	Milán	cálida/lluvias	10	
	CU UAEM	secas-frío	7	
	CU UAEM	cálida/lluvias	6	
Valor de P=				0.0001

Valor de $P>0.05$ no difiere estadísticamente, Valor de $P<0.05$ difiere estadísticamente

Medias con la misma letra, no difieren estadísticamente entre sí.

Medias con diferente letra, difieren estadísticamente

a b = comparación de medias entre estaciones

8.1.8 Análisis del fósforo

El fósforo presentó diferencia una diferencia significativa entre estaciones y sitios de muestreo. La estación Río Verde fue similar a la estación Río Vado ($P=0.3156$) pero existió diferencia con la estación Río Temascaltepec ($P= 0.0001$), además de que las estaciones Vado y Río Temascaltepec fueron distintas ($P=0.0001$). Entre los sitios 1 y 2 de cada estación se presentó diferencia significativa ($P= 0.001$), habiendo mayor cantidad de fósforo en los sitios con mayor actividad humana (Tabla 15).

Tabla 15. Análisis del fósforo.

Estación	Sitio	Época	Fósforo (mg/l)	Estación	Sitios	
					1	2
Río Verde	La Toma	secas-frío	5	8a	6.5 ^B	9.5 ^A
	La Toma	cálida/lluvias	8			
	La Planta	secas-frío	11			
	La Planta	cálida/lluvias	8			
Río Vado	San José	secas-frío	6	7.25a	5.5 ^B	9 ^A
	San José	cálida/lluvias	5			
	La Malinche	secas-frío	8			
	La Malinche	cálida/lluvias	10			
Río Temascaltepec	Milán	secas-frío	4	4.5b	4 ^B	5 ^A
	Milán	cálida/lluvias	4			
	CU UAEM	secas-frío	5			
	CU UAEM	cálida/lluvias	5			
Valor de P=				0.0001	0.0001	

Valor de $P>0.05$ no difiere estadísticamente, Valor de $P<0.05$ difiere estadísticamente

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente

Medias con diferente letra, difieren estadísticamente

a b = comparación de medias entre estaciones

A B = comparación de medias entre sitios por estación.

Sitio 1= La Toma-San José-Milán Sitio 2= La Planta-La Malinche-CU UAEM Temascaltepec

8.1.9 Análisis de la variable nitrato

En la variable nitrato, no existió diferencia significativa, teniendo como P los siguientes valores: estación ($P=0.284$), Sitio ($P=0.348$) y época ($P=0.123$).

8.2 Macroalgas

8.2.1 Especies algales registradas

Con el muestreo cualitativo se identificaron 6 grupos o divisiones algales, los cuales corresponden a *Phormidium*, *Batrachospermum gelatinosum*, *Paralemanea mexicana*, *Cladophora glomerata*, *Prasiola mexicana* y *Xanthophyceae vauchearia*.

8.2.2 Cobertura macroalgal espacio-temporal.

En la Tabla 16 y 17 se muestra la relación de cobertura algal, por sitio y época de muestreo. Siendo la especie *Paralemanea mexicana*, la más abundante en la época secas-frío, y en la época cálida-inicio de lluvias la macroalga *Cladophora glomerata*.

Tabla 16. Cobertura de macroalgas (área en cm²) por especie registrada, en cada sitio de muestreo. Época secas-frío.

Sitio	Época de muestreo: secas-frío					
	Especies Algales					
	<i>Phormidium</i>	<i>Batrachospermum gelatinosum</i>	<i>Paralemanea mexicana</i>	<i>Cladophora glomerata</i>	<i>Prasiola mexicana</i>	<i>Xanthophyceae vauchearia</i>
La Toma	0	0	128.7594	0	71.533	0
La Planta	0	0	143.066	128.7594	57.2264	143.066
San José	429.198	0	1144.528	429.198	0	0
La Malinche	0	0	1430.66	0	0	0
Milán	0	0	0	57.2264	0	0
CU UAEM T.	0	1072.995	286.132	357.665	0	228.9056

Tabla 17. Cobertura de macroalgas (área en cm²) por especie registrada, en cada sitio de muestreo. Época cálida-inicio de lluvias.

Época de muestreo: cálido-inicio de lluvias						
Especies Algales						
Sitio	<i>Phormidium</i>	<i>Batrachospermum gelatinosum</i>	<i>Paralemanea mexicana</i>	<i>Cladophora glomerata</i>	<i>Prasiola mexicana</i>	<i>Xanthophyceae vauchearia</i>
La Toma	0	0	0	0	0	2289.056
La Planta	0	0	0	786.863	0	0
San José	0	0	486.4244	0	0	0
La Malinche	0	0	5.72	2861.32	0	0
Milán	0	0	0	0	0	0
CU UAEM T.	0	0	0	347.3642	0	7.1533

De los 6 taxas determinados de macroalgas, la mayor riqueza se registró en el Sitio la Planta y el CU UAEM Temascaltepec en la época de secas-frío, teniendo 4 de las 6 especies.

De acuerdo al muestreo inicial en la época de secas-frío (febrero/marzo), la especie algal con mayor cobertura fue *Paralemanea mexicana* con una cobertura total de 3133.1454cm² (Gráfico 1), la cual según Carmona Jiménez & Beltrán Magos (2007) crece sobre rocas emergentes en la zona de deslizamientos; a temperaturas de 9-17.5°C, un pH de entre 6 y 7.8 y una profundidad de entre 10 y 60 cm.

La mayor riqueza y diversidad se observó en las estaciones secas y frías. Para Rodríguez Flores & Carmona Jiménez (2017) este patrón sugiere que las comunidades de algas macroscópicas están relacionadas con corrientes permanentes y el agua templada constante, pH circunneutral.

Sheath & Cole, (1992); Necchi *et al.*, (2003) citados por (Bojorge García, 2013) mencionan que en promedio, en la época de secas-frío (época con caudal intermedio entre secas cálidas y lluvias) se registra la mayor diversidad indicando que la comunidad algal se ve favorecida por una velocidad de corriente moderado.

Gráfico 1. Área total de cobertura (cm²) por macroalga. Época de secas-frío

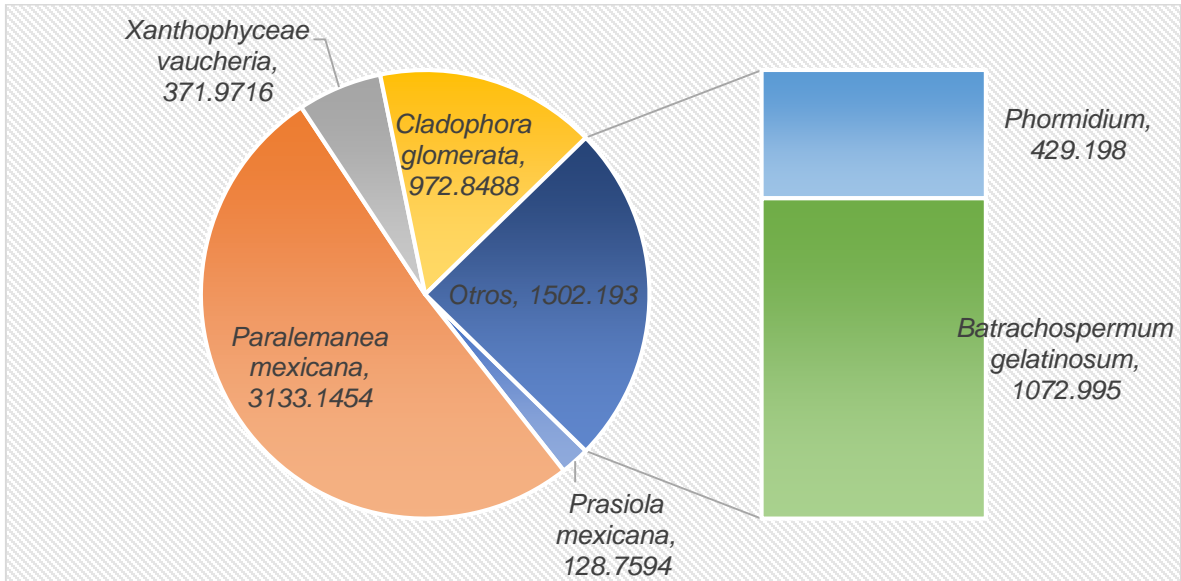
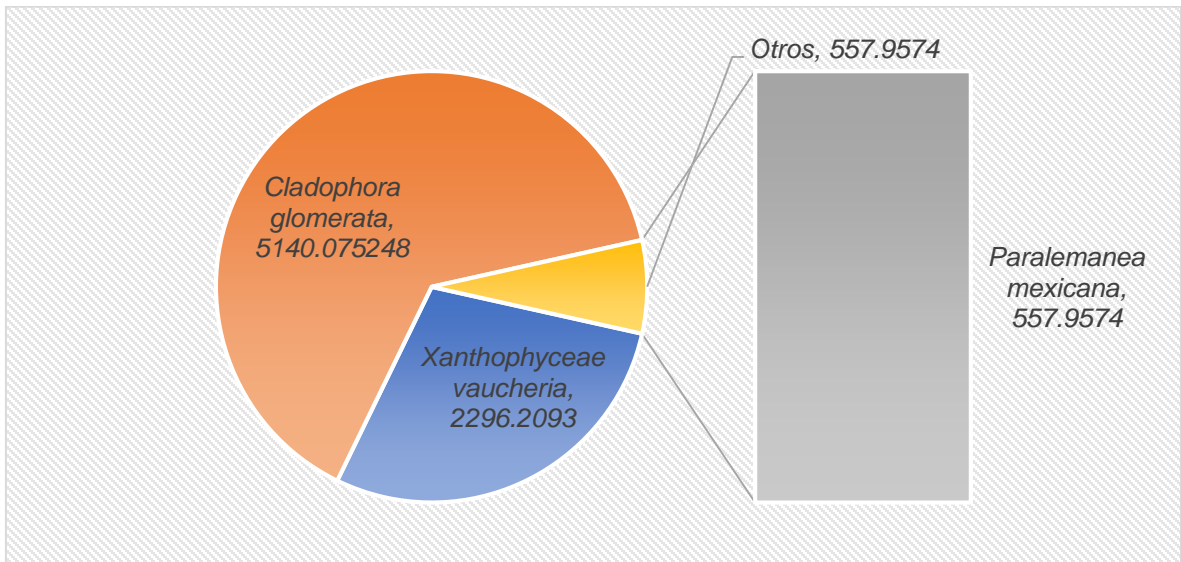


Gráfico 2. Área total de cobertura (cm²) por macroalga. Época cálida-inicio de lluvias



Las comunidades de algas responden diferencialmente a los procesos ecológicos en su entorno.

Es de esperar que la mayor diversidad de especies de algas macroscópicas ocurra durante la estación fría y seca, correlacionada con baja temperatura y agua oligotrófica, características de los arroyos de montaña (Rodríguez Flores &

Carmona Jiménez, 2017) tal y como se aprecia en la Tabla 16 donde se presentó la mayor diversidad de especies algales.



En el presente trabajo la interacción del aumento del flujo del agua y el incremento en la temperatura fueron los responsables del recambio de especies registradas en la primera época de muestreo.

Asimismo, la disminución o incremento en el flujo de agua en los diferentes sitios de muestreo estuvo relacionado con el recambio de especies entre la época de lluvias y la de secas.

8.2.3 Identificación taxonómica y características de las especies algales registradas.

Las muestras algales fueron observadas a través de un microscopio estereoscópico y fotografiadas para su identificación (Tabla 18).

Tabla 18. Identificación taxonómica y características de las especies algales registradas en la Subcuenca del Río Temascaltepec.

Fotografía	Especie	Características/Hábitat/Ecología
 	<p><i>Rhodhopyta</i> <i>Paralemanea</i> <i>mexicana</i></p>	<p>Crece en ríos de alta montaña; sobre rocas emergentes en la zona de rápidos y agua ligeramente ácida a neutra. T: 9 a 17.5°C, pH: 6.0 a 7.5 (Carmona, 2009).</p>



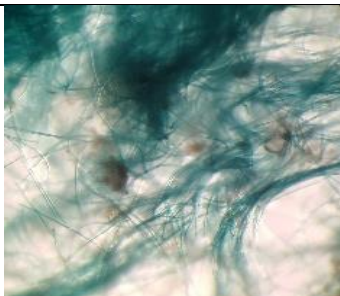
*Cladophora
glomerata*

Crece sobre rocas sumergidas



Prasiola mexicana

Crece sobre rocas emergentes
en zonas de remanso y rápidos.



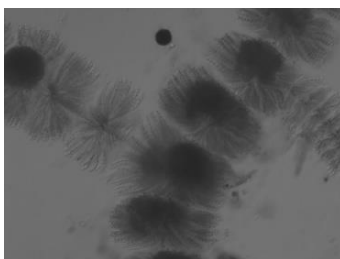
Phormidium sp.

Crece en zonas de remanso a la
orilla del río bajo la sombra d los
árboles.



*Batrachospermum
Gelatinosum*

Epifítica y epilítica en arroyos de
aguas de oligo a mesotróficas. A
veces puede presentar
incrustaciones de carbonatos.
(Ministerio de Agricultura,
Alimentación y Medio Abiente.
Gobierno de España, 2018)



Crece en ríos de montaña; en
zonas de remanso, sobre cantos
rodados y agua ligeramente
ácida. T: 9 a 17.5°C, pH: 6.0 a
7.5 (Carmona, 2009).



Xanthophyceae
Vauchearia sp.

Sumergida, sobre rocas en
zona de remanso.

8.3 Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados tienen una especial importancia en los ecosistemas acuáticos al constituir el componente de biomasa animal más importante en muchos tramos de ríos y jugar un papel fundamental en la transferencia de energía desde los recursos basales hacia los consumidores superiores de las redes tróficas de estos ambientes.

En la tabla 19 y 20 se presenta el resumen de las familias de macroinvertebrados encontrados en cada sitio de muestreo. El signo X significa que la familia está presente en ese sitio.

Tabla 19. Familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en cada sitio de muestreo en la época de secas-frío.

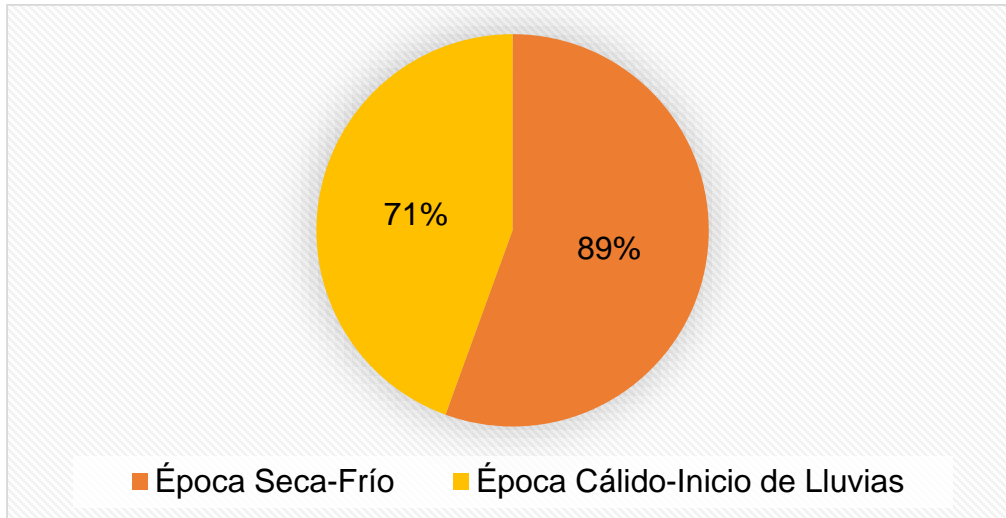
Familia	Muestreo época secas-frío (Febrero/Marzo)					
	Estación Río Verde		Estación Río Vado		Estación Río Temascaltepec	
	La Planta	La Toma	San José	La Malinche	Milán	CU UAEM
Hydrophilidae	x				x	
Baetidae	x	x	x	x	x	X
Tipulidae	x		x	x		
Aeshnidae	x		x			
Simuliidae	x	x	x	x	x	X
Calopterygidae	x		x		x	X
Chordodidae	x					
Hydropsychidae	x	x		x	x	X
Leptoceridae	x	x			x	
Elmidae		x	x		x	
Corydalidae		x		x		
Leptophlebiidae			x			
Philopotamidae			x			
Perlidae			x			
Planariidae			x	x	x	X
Polycentropodidae			x			
Hydrobiosidae			x	x		X
Ceratopogonidae			x			
Glossosomatidae			x	x		
Chironomidae				x	x	X
Dolichopodidae				x		
Tubificidae					x	
Physidae					x	X
Empididae				x		

Tabla 20. Familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en cada sitio de muestreo en la época de cálido-inicio de lluvias.

Muestreo época cálida-inicio de lluvias (Mayo/Junio)						
Familia	Estación Río Verde		Estación Río Vado		Estación Río Temascaltepec	
	La Toma	La Planta	San José	La Malinche	Milán	CU UAEM
Baetidae	x	X		x	x	x
Tipulidae		X		x		
Aeshnidae		X	x			
Simuliidae	x	X	x	x	x	x
Calopterygidae	x	X				x
Hydropsychidae	x	X		x	x	x
Leptoceridae		X			x	
Elmidae			x		x	x
Corydalidae			x			
Philopotamidae						x
Perlidae			x			
Planariidae			x	x	x	x
Polycentropodidae						
Hydrobiosidae	x	X	x	x		
Psephenidae			x			
Caenidae			x			
Chironomidae			x	x	x	x
Planorbiidae			x			
Tubificidae				x		x
Physidae				x		x
Leptohyphidae				x		

De acuerdo al Gráfico 3, en la época secas-frío se muestra un mayor porcentaje de familias presentes a comparación de la época cálida-inicio de lluvias.

Gráfico 3. Presencia de familias de macroinvertebrados por estación (porcentaje)



Del orden Díptera se identificaron 7 familias (*Tipulidae*, *Chironomidae*, *Dolichopodidae*, *Simuliidae*, *Empididae*, *Ceratopogonidae*). Los órdenes con 1 Familia fueron, Megaloptera (*Corydalidae*), Haplotaaxida (*Tubificidae*), Plecoptera (*Perlidae*), Seriate (*Planariidae*) y Gordodidae (*Chordodidae*). Por otro lado, en el orden Trichoptera se identificaron 6 familias (*Hydropsychidae*, *Leptoceridae*, *Polycentropodidae*, *Philopotamidae*, *Hydrobiosidae*, *Glossosomatidae*) Los órdenes que tuvieron 3 familias fueron, Ephemeroptera (*Leptohyphidae*, *Leptophlebiidae*, *Caenidae*), Coleóptera (*Elmidae*, *Haliplidae* y *Psephenidae*). Solo Dos órdenes contaron con 2 familias, Odonata (*Calopterygidae* y *Aeshnidae*) y Basommatophora (*Physidae* y *Planorbiidae*).

De acuerdo a Ladrera (2012), menciona que cada orden tiene diferentes características, que se mencionan a continuación.

- Odonata: Pueden vivir en una amplia variedad de hábitats, pero son más frecuentes en las zonas con poca velocidad de corriente de los cursos fluviales, como remansos o en pequeñas lagunas.

- Plecópteros: En este caso de la familia Perlidae, los cuales se trata de especies que viven en el fondo de cauces de aguas frías, bien oxigenadas y libres de contaminación, por lo que son ampliamente utilizados como bioindicadores de la calidad del ecosistema acuático.
- Dípteros: Algunas especies están adaptadas a vivir en zonas con elevadas corrientes y concentraciones de oxígeno, mientras que otras son especies oportunistas, adaptadas a vivir en ecosistemas con ciertas perturbaciones e incluso en condiciones extremas, por lo que hay especies con requerimientos muy diferentes en cuanto a la calidad del agua, lo cual es usado frecuentemente como indicador de la misma.
- Tricópteros: Su modo de alimentación es muy variado, con especies herbívoras, detritívoras y depredadoras, y presentan en general cierta exigencia en cuanto a la calidad del agua.

Ladrera (2012) también menciona factores que afectan a la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos, por ejemplo, la *Eutrofización* que consiste en el crecimiento desmesurado de organismos fotosintéticos en el agua como consecuencia de un aumento de nutrientes en la misma, fundamentalmente nitratos procedentes de actividades agroganaderas y fosfatos procedentes de detergentes. La acumulación excesiva de algas y otros productores conduce finalmente a la muerte y putrefacción de éstas, provocando un descenso de las concentraciones de oxígeno en el agua, que limita el asentamiento de gran cantidad de macroinvertebrados.

Lo anterior evidencia la presencia de organismos indicadores de la calidad del agua, listados en el índice BMWP (Roldan. 2012), las familias no citadas en dicho registro, no fueron tomadas en cuenta para la construcción del índice para la zona de estudio. En términos generales se puede decir que de acuerdo con Segnini (2003), que la biota acuática cambia su estructura y funcionamiento al modificarse las condiciones

ambientales de sus hábitats naturales, de modo que es posible usar algunas características o propiedades estructurales y funcionales de los diferentes niveles de organización biológica, para evaluar en forma comparativa el estado de la biota acuática, cuya condición es reflejo del estado ecológico del cuerpo de agua.

8.3.1 Índice BMWP/Col

El índice de calidad de agua es una herramienta muy útil para comunicar información sobre la calidad del agua a las autoridades y al público (1). Puede darnos rápidamente una imagen general del estado del recurso. Es muy útil para propósitos comparativos, y determinar qué puntos de muestreo tienen peor calidad de agua.

En la tabla 21 y 22 se presentan los valores de bioindicación encontrados mediante el método BMWP/Col, la calidad del agua según los valores del BMWP/Col y la clave de color que se debe utilizar en una presentación cartográfica, de acuerdo a la época en la que se realizó el muestreo.

Tabla 21. Valores de bioindicación época de secas-frío. Macroinvertebrados acuáticos

Muestreo Época de secas-frío					
Estación	Sitio de Muestreo	BMWP	Calidad	Significado	Clave de color
Río Verde	La Toma	63	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
	La Planta	42	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
Río Vado	San José	100	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
	La Malinche	64	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
Río Temascaltepec	Milán	66	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
	CU UAEM Temascaltepec	50	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo

Clase: I Calidad: Buena BMWP/Col: >150 (101-120) Significado: Aguas muy limpias a limpias Color: Azul

Clase: II Calidad: Aceptable BMWP/Col: 61-100 Significado: Aguas ligeramente contaminadas Color: Verde

Clase: III Calidad: Dudosa BMWP/Col: 36-60 Significado: Aguas moderadamente contaminadas Color: Amarillo

Clase: IV Calidad: Crítica BMWP/Col: 16-35 Significado: Aguas muy contaminadas Color: Naranja

Clase: V Calidad: Muy crítica BMWP/Col: <15 Significado: Aguas fuertemente contaminadas Color: Rojo

Para la época de muestreo secas-frío, de acuerdo al puntaje obtenido a través del índice BMWP, resultaron 2 lugares con calidad dudosa, siendo el Sitio la Planta y el sitio CU UAEM Temascaltepec.

Tabla 22. Valores de bioindicación época cálida-inicio de lluvias. Macroinvertebrados acuáticos

Muestreo Época cálida-inicio de Lluvias					
Estación	Sitio de muestreo	BMWP	Calidad	Significado	Clave de color
Río Verde	La Toma	38	Dudosa	Aguas Moderadamente Contaminadas	Amarillo
	La Planta	55	Dudosa	Aguas Moderadamente Contaminadas	
Río Vado	San José	74	Aceptable	Aguas Ligeramente contaminadas	Verde
	La Malinche	54	Dudosa	Aguas Moderadamente Contaminadas	Amarillo
Río Temascaltepec	Milán	45	Dudosa	Aguas Moderadamente Contaminadas	
	CU UAEM Temascaltepec	57	Dudosa	Aguas Moderadamente Contaminadas	

Clase: I Calidad: Buena BMWP/Col: >150 (101-120) Significado: Aguas muy limpias a limpias Color: Azul
 Clase: II Calidad: Aceptable BMWP/Col: 61-100 Significado: Aguas ligeramente contaminadas Color: Verde
 Clase: III Calidad: Dudosa BMWP/Col: 36-60 Significado: Aguas moderadamente contaminadas Color: Amarillo
 Clase: IV Calidad: Crítica BMWP/Col: 16-35 Significado: Aguas muy contaminadas Color: Naranja
 Clase: V Calidad: Muy crítica BMWP/Col: <15 Significado: Aguas fuertemente contaminadas Color: Rojo


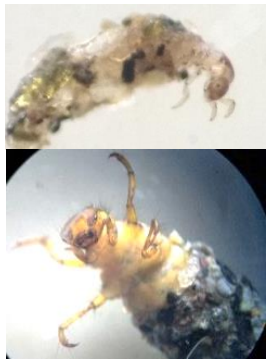
En los resultados obtenidos para determinar calidad del agua utilizando la biodiversidad de macroinvertebrados, su presencia o ausencia aplicando el índice biológico BMWP, se observa que el número de familias decrece a medida que las condiciones de calidad disminuyen.





En este caso, durante la época de muestreo cálido-inicio de lluvias, se aprecia claramente a través del índice BMWP que la calidad del agua en la mayoría de los sitios de muestreo disminuye, siendo solamente el sitio San José el que presente una calidad Aceptable.




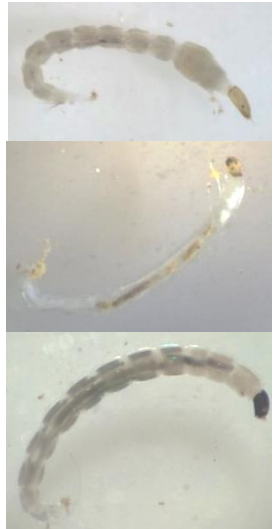
8.3.2 Identificación Taxonómica de los ejemplares encontrados en ambas épocas de muestreo, de acuerdo a su valor como indicador biológico.




Para la identificación taxonómica, se observaron los ejemplares a través de microscopio Iroscope Mod. NZ-14T, No. 990255, tomándose fotografías de los ejemplares de acuerdo a Roldán (2012) para el Índice BMWP (Tabla 23).

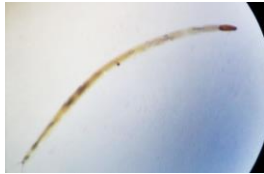




Tabla 23. Identificación taxonómica y características de los macroinvertebrados utilizados como bioindicadores



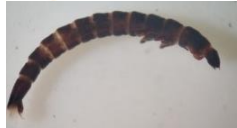

Orden	Familia	Fotografía	Características	Valor índice BMWP
Trichoptera	<i>Hydropsychidae</i>		Se localizan a lo largo de todos los tramos de los ríos, construyendo grandes redes de seda con las que filtran las partículas que el río arrastra para alimentarse. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009)	7
	<i>Leptoceridae</i>		Grupos de tricópteros con estuches largos de variada composición. La mayoría vive en aguas con baja velocidad. Son sensibles a la contaminación, por lo que su presencia se considera como indicadora de buena calidad. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009)	8



<i>Polycentropodidae</i>		Miden hasta 8.0 mm. Viven en corrientes, sobre sustratos pedregosos y residuos vegetales.	9
<i>Philopotamidae</i>		Miden entre 9.0 y 10.0 mm; poseen una depresión asimétrica en el margen anterior del clípeo; la coxa anterior presenta un proceso subapical largo y delgado; fabrican redes tubulares como de seda sobre rocas y piedras para alimentarse filtrando. Ello les hace tolerar pequeños incrementos de materia orgánica. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009). Viven en aguas de poca corriente y fondos pedregosos. (Roldán, 2012)	9
<i>Hydrobiosidae</i>		Miden entre 10.0 y 12.0 mm; las 1as patas son muy modificadas; las otras dos tienen escleritos en la base de la coxa; no construyen casas. Viven en aguas corrientes sobre material pedregoso. (Roldán, 2012)	9
<i>Glossosomatidae</i>		Los organismos con este puntaje son característicos de aguas poco contaminadas. (Roldán, 2012)	7

Odonata	<i>Calopterygidae</i>		Los organismos con este puntaje son característicos de aguas poco contaminadas. (Roldán, 2012).	7
	<i>Aeshnidae</i>		Ninfa de gran tamaño y ojos voluminosos. Son activas predadoras que se desplazan buscando sus presas. Se les considera un grupo indicador de aguas de calidad relativamente alta. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009)	6
	<i>Tipulidae</i>		Los organismos con este puntaje son, en su mayoría, característicos de aguas contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas muy contaminadas (Roldán, 2012).	3
Diptera	<i>Chironomidae</i>		Esta familia abarca especies con espectros ecológicos muy variados. Pueden tolerar condiciones de falta casi total de oxígeno. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009). Viven en aguas lóxicas y lénticas con abundante materia orgánica en descomposición. Algunos, como <i>Chironomus</i> , viven en aguas muy	2

		contaminadas; otros pueden vivir en aguas limpias (Roldán, 2012)	
<i>Dolichopodidae</i>		Los organismos con este puntaje son, en su mayoría, característicos de aguas moderadamente contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas contaminadas (Roldán, 2012).	4
<i>Simuliidae</i>		Viven fijos sobre piedras y sustratos duros en zonas de corriente mediante su abertura anal modificada a modo de ventosa y una sustancia pegajosa que secretan. Mediante una adaptación de su aparato bucal filtra el agua para obtener alimento. Toleran cierta polución orgánica. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009)	8
<i>Empididae</i>		Los organismos con este puntaje son, en su mayoría, característicos de aguas moderadamente contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas contaminadas (Roldán, 2012)	4

	<i>Ceratopogonidae</i>		Los organismos con este puntaje son, en su mayoría, característicos de aguas contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas muy contaminadas (Roldán, 2012).	3
	<i>Tipulidae</i>		Los organismos con este puntaje son, en su mayoría, característicos de aguas contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas muy contaminadas (Roldán, 2012).	3
<i>Megaloptera</i>	<i>Corydalidae</i>		Los organismos con este puntaje son en su mayoría característicos de aguas poco contaminadas, aunque pueden presentarse algunos de aguas moderadamente contaminadas (Roldán, 2012).	6
<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptohyphidae</i>		Los organismos con este puntaje son característicos de aguas poco contaminadas. (Roldán, 2012).	7
	<i>Leptophlebiidae</i>		Son en general un grupo que no tolera la contaminación ni las alteraciones de la vegetación de ribera, lo	9

			<p>que hace que sean considerados como buenos indicadores de la calidad. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009)</p>
			<p>Taxón frecuente en los ríos, especialmente en los tramos medios y bajos, habita preferentemente en zonas más resguardadas de la corriente donde se depositan los sedimentos o la materia orgánica. Tienen cierta resistencia frente a la contaminación orgánica o a las alteraciones ambientales. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009)</p>
	<i>Caenidae</i>		7
<i>coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	 	6
	<i>Haliplidae</i>		4
			<p>Habitan en aguas de corriente leve o nula, en zonas de vegetación, musgo o algas. Al existir especies que soportan los aumentos de carga orgánica en las aguas</p>

			<p>y la reducción de caudal, no se consideran como buenos indicadores de calidad. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009)</p>	
	<i>Psephenidae</i>		<p>Larvas: miden entre 2.0 y 6.0 mm; tienen el cuerpo ovalado y segmentado, y son de color amarillento o café claro; las agallas poseen un par de penachos filamentosos. Viven en aguas lóxicas, debajo de piedras, troncos y residuos vegetales. (Roldán, 2012)</p>	10
<i>Oligochaeta: Haplotaxida</i>	<i>Tubificidae</i>		<p>Miden entre 1.0 y 30.0 mm. La mayoría viven en aguas eutroficadas, sobre fondos lodosos con abundante materia orgánica en descomposición. Son de color rojo debido a la hemoglobina presente; en condiciones extremas de contaminación forman manchas rojas en el fondo de las orillas de los ríos. (Roldán, 2012)</p>	1

Basommatophora

Physidae



Caracoles de tamaño pequeño, de hasta unos 15 mm que prefieren aguas estancadas o de corriente lenta. Aparecen de manera ocasional en aguas más rápidas. Viven sobre el sustrato o sobre macrofitas. Presentan tolerancia a contaminantes orgánicos, pudiendo ser hallados incluso en depuradoras (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009).




3

Planorbiidae



Grupo de moluscos reconocibles de manera sencilla por el aplastamiento lateral que presentan. Habitualmente viven en fondos fangosos o con limo. Pueden soportar situaciones de fuerte polución orgánica. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009)

5

<i>Plecoptera</i>	<i>Perlidae</i>		Larvas grandes, de colores vivos que poseen branquias torácicas en penacho. Habitan arroyos y ríos de montaña de aguas frías y oxigenadas preferentemente. Se les considera como buenas indicadores de la calidad del agua. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009)	10
<i>Seriata</i>	<i>Planariidae</i>		Los organismos con este puntaje son característicos de aguas poco contaminadas. (Roldán, 2012).	7
<i>Gordodidae</i>	<i>Chordodidae</i>		Los organismos con este puntaje de bioindicación son propios de aguas muy limpias (Roldán, 2012)	10

IX. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos de los parámetros físicos y químicos del agua de los diferentes afluentes de la Subcuenca del Río Temascaltepec, La Malinche es el sitio con mayor contaminación ubicado en la estación Río Vado, al presentarse mayores niveles de amonio y fósforo los cuales causan eutrofización, lo anterior derivado de las descargas domésticas que a él llegan, además de presentar la menor diversidad de especies algales en ambas épocas de muestreo.
- Las 2 épocas de muestreo (secas-frío y cálida-inicio de lluvias) estuvieron marcadas por un incremento de temperatura y velocidad de corriente del caudal.
- Para la diversidad algal, se presentaron cambios de acuerdo a los diversos factores ambientales y químicos presentes en cada época, estación y sitio de muestreo, donde la macroalga *Paralemanea mexicana* registró la mayor cobertura en la época secas-frío, sin embargo, la macroalga *Cladophora glomerata* se presentó en ambas estaciones.
- El índice biológico BMWP debido a su versatilidad es muy útil para la gestión de la calidad del agua; ya que permite una evaluación rápida y acertada, esto basado en ponderaciones de sensibilidad a los rangos de tolerancia ambiental de los macroinvertebrados acuáticos. En este trabajo los sitio La Toma, San José, La Malinche y Milán presentaron calidad aceptable, es decir con aguas ligeramente contaminadas durante la época secas-frío. Y el sitio San José presentó aguas aceptables en la época cálida-inicio de lluvias, siendo este el más alejado del centro urbano, todos los demás sitios de muestreo con una calidad dudosa.

X. RECOMENDACIONES

Los resultados del presente estudio determinaron que como medidas de prevención es necesario capacitar a los pobladores de las riberas de la Subcuenca del Río Temascaltepec en el uso de los bioindicadores como un elemento fundamental en áreas de manejo integrado de cuencas y conservación de suelo, con el fin de reducir la contaminación puntual existente y así asegurar un manejo sostenible del recurso agua. Para ello, se pueden establecer talleres para el reconocimiento de la biodiversidad acuática (algas y macroinvertebrados) y realizar monitoreos comunitarios para la valoración de los ríos.

Los resultados derivados del presente estudio son la base de futuros estudios y acciones que apoyen la conservación y el manejo de los Ríos de la Subcuenca del Río Temascaltepec. Proponiendo realizar medidas de mitigación las cuales tienen como fin en este caso evitar daños futuros irremediables sobre el recurso natural agua, fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas y el uso directo en las diferentes actividades humanas, siendo el agua; un nuevo paradigma de corto plazo tanto para Temascaltepec, como para México, el reto de evitar mayores conflictos por el uso y aprovechamiento del agua, adoptando los conceptos de llevar a cabo una gestión integral del recurso hídrico a través de la participación de los usuarios, de la sociedad organizada e interesada en el cuidado y protección de este recurso.

Realizar monitoreos constantes de la calidad de agua tanto en las estaciones y sitios de muestreo en este trabajo, como en zonas con diferentes actividades antropogénicas, como la ganadería, agricultura y minería para hacer un seguimiento y realizar mejoras en el manejo de la Subcuenca del Río Temascaltepec que pueda estar afectando tanto a la comunidad como a los ecosistemas presentes.

XI. LITERATURA CITADA

- Alba, J., 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), España.
- Alba, J., 1988. *Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes, basado en el de Hellawell (1978)*. Granada: s.n.
- Aranda, N., 2004. *Tesis: Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical*. Barcelona: s.n.
- Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F. & Furse, M. T., 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Res*, 17(3), pp. 333-347.
- Arndt, U. & Schweizer, B., 1991. The Use of Bioindicators for Environmental Monitoring in Tropical and Subtropical Countries. En: *Biological Monitoring: Signals from the Environment*. Germany: Vieweg & Sohn, pp. 158-206.
- Ávila, P., Tejada Vega, S. & Zarazúa Vega, S., 2003. *La Contaminación en el Curso Alto del Río Lerma*. s.l.:s.n.
- Avilés Nova, F., Ríos García, L. M. & Tapia Robles, C. A., 2012. *Las gramíneas silvestres del municipio de Temascaltepec, México: identificación morfológica, distribución y composición química*. 1a ed. Toluca: UAEM.
- Aznar, A., 2000. Determinación de los parámetros físico-químicos de la calidad de las aguas. *Gestión Ambiental*, 2(23), pp. 12-19.
- Bojorge García, M. G., 2013. *Comunidades algales de afluentes de la presa Valle de Bravo, Estado de México*. México: s.n.
- Bojorge, M. G. & Cantoral Uriza, E. A., 2016. La importancia de las algas en los ríos. *Hidrobiológica*, 26(1), pp. 1-8.
- Bonada, N., Prat, N., H. Resh, V. & Stanzner, B., 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol*, Volumen 51, pp. 495-523.
- Carmona Jiménez, J. & Beltrán Magos, Y., 2007. *Las algas rojas de aguas continentales en la región central de México*. Primera ed. D.F: s.n.

- Carmona, J., 2009. *Las algas rojas (Rhodophyta) de agua dulce en la región central de México. Taxonomía y distribución..* D.F.: s.n.
- Carpenter, S. y otros, 1998. Contaminación No Puntual De Aguas Superficiales Con Fósforo y Nitrógeno. *Tópicos en Ecología*, Issue 3, pp. 1-12.
- Casilla, S., 2014. *Tesis: Evaluación de la calidad de agua en los diferentes puntos de descarga de la cuenca del río Suchez.* Puno: s.n.
- CONAGUA, 1997. *Normas Oficiales Mexicanas.* [En línea] Available at: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SG_AA-15-13.pdf [Último acceso: 13 Septiembre 2018].
- CONAGUA, 2014. *Estadísticas del agua en México.* [En línea] Available at: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EA_M2014.pdf [Último acceso: 22 Octubre 2017].
- Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009. *Guía de campo. Macroinvertebrados de la Cuenca del Ebro.* [En línea] Available at: <https://docplayer.es/6018145-Guia-de-campo-macroinvertebrados-de-la-cuenca-del-ebro.html> [Último acceso: Julio 2018].
- Contaminación Ambiental.net, 2017. *La contaminación del agua.* [En línea] Available at: <https://contaminacionambiental.net/contaminacion-del-agua/> [Último acceso: 10 Septiembre 2017].
- De la Lanza Espino, G. J., Hernández Pulido, S. & Carbajal Pérez, J. L., 2011. *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores).* 2a ed. México: Plaza y Valdés.
- Della Bell, V., Puccinelli, C., Marcheggiani, S. & Mancini, L., 2007. Benthic diatom communities and their relationship to water chemistry in wetlands of central Italy. *Ann. Limnol. -Int. J. Lim.* , 43(2), pp. 89-99.

- Figuroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. & Parra, O., 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 76(2), pp. 275-285.
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A. C. , 2017. *AGUA.org.mx*. [En línea] Available at: <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-soluciones/> [Último acceso: 20 Octubre 2017].
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, 2017. *Cencas hidrográficas*. [En línea] Available at: <https://agua.org.mx/que-es-una-cuenca/> [Último acceso: 04 Diciembre 2017].
- Gálvez, J. J. O., 2011. *¿Qué es una cuenca hidrológica?*. Lima: Perú.
- García, J. M., Sarmiento, L. F., Salvador Rodríguez, M. & Porras, L. S., 2017. Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. Revisión corta. *UGCiencia*, Volumen 23, pp. 47-62.
- Gómez, A. M., Naranjo, D., Alfonso, A. & Gallego, D., 2007. Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y el Salado (Girardota-Antioquia, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(1), pp. 3735-3749.
- González, S., 2007. Contaminación de las aguas difusas. *INIA Tierra Adentro*, pp. 21-25.
- Goyenola, G., 2007. *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras*. [En línea] Available at: http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Velocidad%20de%20la%20corriente%20y%20caudal.pdf [Último acceso: 22 Febrero 2018].
- GREENPACE, 2012. *Ríos mexicanos, ríos tóxicos*. [En línea] Available at: <http://www.greenpeace.org/mexico/es/Noticias/2012/Marzo/Rios-mexicanos->

rios-toxicos/

[Último acceso: 04 12 2017].

Guerrero Flores, J. J., Macías Sánchez, S., Mundo Hernández, V. & Méndez Sánchez, F., 2013. Ecología de la nutria (*Lontra longicaudis*) en el municipio de Temascaltepec, Estado de México: estudio caso. *THERYA*, Agosto, 4(2), pp. 13-127.

H. Ayuntamiento de Temascaltepec, 1999. *Monografía Municipal de Temascaltepec..* [En línea] Available at: http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/Temasaltepec/TEMASALTEPECFEB.pdf

[Último acceso: 02 Agosto 2018].

Hanson, P., Springer, M. & Ramirez, A., 2010. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Biología Tropical*, 58(4), pp. 3-37.

Hernández, I., 2014. La Calidad del agua en los ríos de México. *Impluvium*, Octubre-Diciembre, pp. 7-13.

INEGI, 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos : Temascaltepec*. México: s.n.

Ladrera Fernández, R., 2012. *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. Páginas de Información Ambiental*. s.l.:s.n.

Lara, J. R. y otros, 2008. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. *Capital natural de México. Conabio*, Volumen 1, pp. 109-134.

López, M. L., 2009. Determinación de la calidad del agua del río Pasto mediante la utilización de bioindicadores. *UNIMAR*, pp. 35-43.

Manzo Delgado, L. d. L. & López García, J., 1997. *Análisis Geoecosistémico de la Cuenca del Río Temascaltepec, Estado de México*. México: s.n.

Metcalf, J. L., 1989. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. *Environmental Pollution*, 60(1-2), pp. 101-139.

Mihelcic, J. R. y otros, 2001. *Fundamentos de Ingeniería Ambiental*. México D.F.: Limunsawiley.

- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España, 2018. *ID-TAX Catálogo y claves de identificación de organismos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico.* [En línea] Available at: <https://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/programas-seguimiento/ID-TAX.aspx> [Último acceso: 13 Agosto 2018].
- Minitab, 2000. *Statistical software. User's guide 1: Data graphics, and macros Ver. 14.* [En línea].
- Moreno Franco, D. P., Quintero Manzano, J. & López Cuevas, A., 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, Volumen 78, pp. 25-33.
- Municipios.mx, 2017. *Temascaltepec.* [En línea] Available at: <http://www.municipios.mx/mexico/temascaltepec/> [Último acceso: 13 Septiembre 2017].
- Peña, E. J., Palacios, M. L. & Ospina, N., 2005. *Algas como indicadoras de contaminación.* Primera ed. Colombia: Universidad del Valle Programa Editorial.
- Pichardo, I., 2009. *Sostenibilidad y desarrollo. Ensayos sobre política ambiental en el Estado de México.* Primera ed. Toluca de Lerdo: Consejo Editorial.
- Prat, N., 1998. *Bioindicadores de calidad de aguas. En: Memorias del Curso de Bioindicadores de Calidad de Agua.* Medellín: s.n.
- Prat, N. & Munné, A., 2014. Biomonitorio de la calidad del agua en los ríos ibéricos: lecciones aprendidas. *Limnetica*, 33(1), pp. 47-64.
- Quadratín, 2017. *Problema de salud pública, suciedad en Río Temascaltepec.* Estado de México: s.n.
- Rodríguez Flores, R. & Carmona Jiménez, J., 2017. Ecology and distribution of macroscopic algae communities in streams from the Basin of Mexico. *Botanical Sciences*, 96(1), pp. 63-75.
- Rodríguez, B. & Porras, M. d. C., 2008. *Botánica sistemática.* Primera ed. Texcoco: s.n.

- Roldán Pérez, G., 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 23(88), pp. 375-387.
- Roldán, G., 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua.. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales.*, 23(88), pp. 375-387.
- Roldán, G., 2012. *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua.* [En línea] Available at: <http://www.ianas.com/docs/books/wbp12.pdf> [Último acceso: Julio 2018].
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y. & Escobar, J. C., 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *SciELO*, 27(3).
- Secretaría de Estado de Aguas y Costas, 2000. La calidad de las aguas. En: *Libro Blanco del Agua*. Madrid: s.n., pp. 196-412.
- Segnini, S., 2003. El uso de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *ECOTROPICOS*, 16(2), pp. 45-63.
- SEMARNAT, 2014. *El medio ambiente en México.* [En línea] Available at: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_1.html [Último acceso: 04 12 2017].
- Sociedad Norteamericana de Ecología, 1998. Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Tópicos en Ecología*, Issue 3, pp. 1-13.
- Sociedad Norteamericana de Ecología, 2003. Ecosistemas de Agua Dulce Sustentables. *Tópicos de Ecología*, Issue 10, pp. 1-15.
- Steel, G. R. & Torrie, H. J., 1989. *Bioestadística. Principios y procedimientos.* México: Mc. Graw-Hill.
- Tabash, F. A., 1988. *Utilización de indicadores biológicos para el diagnóstico del estado de contaminación de las aguas lóxicas.* Heredia, Costa Rica: s.n.

Tinoco, C. A. B., 2016. *Agua contaminada, una amenaza latente en México*
[Entrevista] (27 Octubre 2016).

UNESCO, 2009. *Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la
identificación y medidas de gestión..* [En línea]
Available at:
<http://limno.fcien.edu.uy/divulgacion/manual.de.cianobacterias.pdf>

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014. *Métodos de colecta,
identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton,
bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del
Perú.* Lima: s.n.