



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**Condiciones Físicoquímicas de tres zonas del Arroyo
Quilamula, Cruz Pintada, Morelos.**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

YESSICA SALOME VALDEZ BAHENA

DIRECTORA

M. EN C. JUDITH GARCÍA RODRÍGUEZ

CUERNAVACA, MORELOS,

DICIEMBRE, 2022

AGRADECIMIENTOS

M. en C. Isela Molina Astudillo, por ser parte del comienzo de la dirección de este trabajo, pero sobre todo por todo el apoyo que recibí en el tiempo que estuve con ella, por todos sus consejos y compartir conmigo su amplio conocimiento y experiencia.

A la M. en C. Judith García Rodríguez por sus valiosas aportaciones y estar para mí con su apoyo en la dirección para la terminación de este trabajo, ya que sin su ayuda y consejos no podría concluir mi titulación.

A la M. en C. Migdalia Díaz Vargas por la colaboración, recomendaciones y atenciones durante la realización de este trabajo.

A la Biól. Martha Beatriz Soriano Salazar por sus invaluable sugerencias y el apoyo. Al Ing. Pesq. Eduardo Mazon Trejo por sus relevantes aportes y comentarios.

Al Biól. Juan Carlos Sandoval Manrique por la colaboración para la recolección de muestras de este trabajo y sus atenciones en las salidas al campo.

Así mismo a la Dra. Elisah Arce Uribe, al M. R. N. Marco Polo Franco Archundia y al Dr. Hugo Fernando Olivares Rubio por sus sugerencias y aportaciones en la última revisión de este trabajo.

En general les agradezco a los miembros de los laboratorios de Hidrobiología y Acuicultura por todo el apoyo, confianza que me brindaron.

DEDICATORIAS

A mis abuelos Alicia y Antonio por ser unas personas maravillosas, que siempre me han dado su amor incondicional, me apoyaron emocional y económicamente en el transcurso de mi carrera, ya que sin ellos no la hubiera podido concluir. Eran mi motivación para seguir y sacar adelante mis estudios. Sobre todo mi abuelo que aunque no pudo ver finalizado este trabajo, sé que estaría orgulloso de mi y fue una de las razones que me inspiró a ser bióloga. Los amo.

A mi mamá Alicia por darme una vida llena de amor, comprensión, consejos, regaños, por estar ahí incondicionalmente cuando la necesitaba y por todo el esfuerzo de sacar a sus hijas adelante. Le agradezco infinitamente toda la paciencia que me tuvo. Gracias por ser una madre tan maravillosa, te amo.

A mi esposo Daniel, gracias por todos esos momentos que hemos pasado juntos, por todo el amor que me brindas cada día y por apoyarme siempre, te amo.

A mi hija Kailani y mi hijo Luciano que fueron mi motivación para no dejar inconcluso este trabajo, ya que son mi motor para seguir adelante y seguir creciendo para darles lo mejor, los amo con todo mi ser.

Y a mi hermana por estar conmigo y darme todo su amor, te amo.

Gracias a estas siete personas por motivarme a seguir adelante y luchar por lo que uno quiere sin importar cuales sean las adversidades; por estar conmigo y ser una inspiración en mi vida.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES.....	4
2.1 Antecedentes a nivel mundial	4
2.2 Antecedentes en México.....	5
2.3 Antecedentes en Morelos.....	6
3. JUSTIFICACIÓN.....	8
4. OBJETIVOS	9
4.1 OBJETIVO GENERAL	9
4.2 OBJETIVOS PARTICULARES	9
5. ÁREA DE ESTUDIO.....	10
5.1 Localización Geográfica	10
5.2 Hidrología	11
5.3 Ubicación y descripción de las Estaciones de Muestreo	11
6. MATERIALES Y MÉTODOS	14
6.1 Trabajo de campo.....	14
6.1.1 Determinación de parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i>	14
6.2 Trabajo de laboratorio	14
6.2.1 Determinación de parámetros fisicoquímicos	14
6.4 Análisis de los datos	15
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
8. CONCLUSIONES	34
9. LITERATURA CITADA.....	35

RESUMEN

El arroyo Quilamula es el aporte principal que abastece a la Presa Lorenzo Vázquez, dicho reservorio representa el 0.06% de los recursos hidrológicos del municipio de Tlaquiltenango, es utilizado para retener agua con fines agrícolas y ganaderos. Además este arroyo es temporal y lleva agua solamente durante la época de lluvias, sin embargo, después del reservorio el cauce del arroyo mantiene el flujo de agua todo el año, debido al drenado constante de la Presa (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2009).

Los sistemas lóticos presentan una serie de características fisicoquímicas como producto del origen edáfico, geológico, ubicación geográfica y estacionalidad que interactúan entre sí, permitiendo la existencia y la diversidad de los organismos que albergan este tipo de ambientes (Aguilar, 1990; Novelo, 1998). El registro de las características fisicoquímicas muestra un panorama ambiental o bien, la descripción de las condiciones que se están presentando en el agua en un momento determinado y que contribuyen de manera relevante y complementaria con el aspecto biológico en el conocimiento de la calidad del agua.

La importancia de conocer las condiciones físicas y químicas de estos permite realizar propuestas de conservación, tanto de las especies que en estos habitan como del propio ecosistema acuático. El presente estudio se llevó a cabo durante el periodo junio 2013-febrero 2014, cubriendo el periodo de lluvias (junio, julio, agosto y octubre) y principio de secas (diciembre y febrero) en tres sitios del arroyo Quilamula, en cada sitio se recolectó una muestra de agua. *In situ* se determinó temperatura, profundidad, pH, conductividad, total de sólidos disueltos y oxígeno, *ex situ* se registró dureza total, alcalinidad total y cloruro. Así mismo se realizaron determinaciones de nitrato, nitrógeno amoniacal, amonio, fósforo y sílice.

De acuerdo con los resultados las zonas estudiadas del arroyo Quilamula se caracterizaron como sitios de aguas templadas a cálidas, de ligeramente alcalinas a alcalinas, de baja a moderada salinidad, con una concentración de total de sólidos baja a moderadamente alta, oxigenadas a muy oxigenadas, de blandas a moderadamente duras y con niveles bajos de cloruros. Los registros obtenidos de los compuestos nitrogenados y fosfatados que permiten caracterizar a las aguas en cuanto a su nivel trófico definen al arroyo Quilamula como oligotrófico a hipereutrófico.

1. INTRODUCCIÓN

Un arroyo es un sistema lótico caracterizado por la presencia de una corriente de agua continua y unidireccional, y que, a diferencia de un río, su caudal es mucho menor e incluso puede desaparecer completamente durante el estiaje, presentando una estrecha relación con la precipitación (Gómez, 2003).

Los principales componentes de un arroyo son: i) Cuenca adyacente, formada por el suelo más alto que captura y drena el agua por escorrentía al arroyo; ii) Zona riparia o de amortiguamiento, área natural de vegetación que se extiende hacia afuera desde el borde del arroyo, esta zona actúa como un buffer o amortiguador de los contaminantes que entran al arroyo por escurrimiento superficial; iii) Valle aluvial, área baja de tierra que rodea al arroyo y sostiene el agua que se desborda durante lluvias o tormentas; iv) Ribera o valle aluvial hidrológico, línea que marca en el arroyo el nivel normal máximo del agua; v) Pozas, hábitat dentro del arroyo en donde la velocidad del agua disminuye y la profundidad es mayor que en otras partes del arroyo; vi) Cañón, estrecho de agua, poco profundo y turbulento que pasa rápidamente sobre las rocas, parcial o totalmente cubiertas de agua; vii) Planos, secciones del arroyo con una velocidad relativamente baja en donde el agua fluye suave y lentamente con poca o ninguna turbulencia en la superficie del agua (Georgia, 2004).

Por lo tanto, los arroyos presentan una elevada heterogeneidad ambiental (Pringle *et al.*, 1988; Townsend, 1989) mostrando cambios en las condiciones bióticas y abióticas a lo largo del gradiente longitudinal como resultado de su interacción, y de las zonas de descarga e infiltración, determinando un patrón de funcionamiento y estructura de los sistemas fluviales. Este transporte de materia y energía varía en el espacio y en el tiempo, conforme los diferentes factores físicos (geomorfología del cauce) y climáticos (estacionalidad) (Cervantes, 2007; Georgia, 2004).

Con relación a lo anterior, los sistemas lóticos presentan una serie de características fisicoquímicas como producto del origen edáfico, geológico, ubicación geográfica y estacionalidad que interactúan entre sí, permitiendo la existencia y la diversidad de los organismos que albergan estos ambientes acuáticos (Aguilar, 1990; Novelo, 1998). El registro de las características fisicoquímicas muestra un panorama ambiental o bien, la descripción de las condiciones que se están presentando en el agua en un momento determinado y que contribuyen de manera relevante y complementaria con el aspecto biológico en el conocimiento de la calidad del agua. Dentro de las variables fisicoquímicas que se deben considerar se encuentran la temperatura, velocidad de corriente, turbidez, tipo de sustrato, profundidad, amplitud del cauce, pH, conductividad, sólidos disueltos, oxígeno disuelto, alcalinidad y dureza total, asimismo, los nutrientes que son elementos químicos esenciales para la vida destacando el nitrógeno como constituyente principal de la materia orgánica y parte esencial de las proteínas en plantas y animales, el fósforo presenta un papel importante en el metabolismo biológico y como factor determinante del estado trófico de los ambientes acuáticos, y el silicio principal constituyente de rocas y sedimento.

2. ANTECEDENTES

2.1 Antecedentes a nivel mundial

Algunos trabajos realizados en ambientes lóticos que se pueden mencionar son el de Seeligmann *et al.*, (2001), quienes caracterizaron la calidad del agua de cuatro tributarios del embalse río Hondo en Argentina, considerando parámetros fisicoquímicos y la composición del fitoplancton como bioindicadores.

Pérez *et al.*, (2008) realizan un estudio para conocer el comportamiento de la calidad del agua en un tramo del arroyo Guachinango en Cuba, en sentido general resumen que el comportamiento de los indicadores físicos y químicos estudiados se encuentran entre los rangos permisibles para el uso de esta agua en el riego de algunos cultivos agrícolas, sin embargo, reconocen un aumento significativo en los nutrientes en la época de lluvia.

Reynoso y Andriulo (2010), evaluaron la calidad del agua en 5 estaciones de muestreo sobre el cauce del arroyo Pergamino, en Argentina, en época de estiaje, concluyendo que la actividad agrícola no aportó cantidades significativas de nutrientes a estas aguas, sin embargo, la actividad urbana aportó una importante cantidad de material orgánico al arroyo y señalan que la no potabilidad del agua del arroyo estuvo determinada por la presencia generalizada de bacterias del tipo coliformes.

Ruiz, *et al.*, (2013) trabajaron en el arroyo Langueyú en Buenos Aires, evaluaron la calidad del agua de este ambiente, ellos señalan que las diferencias en los resultados obtenidos tanto de las determinaciones fisicoquímicos como microbiológicas les permitieron observar variaciones en las condiciones del cauce. Concluyen que El arroyo Langueyú se encuentra muy impactado por diversas actividades y obras, y que el mayor impacto es debido a las descargas provenientes de la planta de tratamiento.

2.2 Antecedentes en México

Israde-Alcantara *et al.*, (2007) estudiaron la distribución de las diatomeas bentónicas en 20 localidades del río Lerma e integran la evaluación de la calidad del agua con el índice de polusensibilidad específica (IPS) y la realizan un análisis de las condiciones fisicoquímicos. Registran 185 especies de diatomeas, e identifican siete sitios con mayor contaminación resaltando la utilidad de las diatomeas como buenos bioindicadores de la calidad del agua.

Ramos-Herrera, *et al.*, (2012) determinaron la tendencia espacial y temporal de siete parámetros de calidad del agua en cinco regiones que conforman la cuenca del Grijalva-Usumacinta dentro del territorio de Tabasco. Concluyen que de las cinco regiones estudiadas, solo en la región Chontalpa los niveles representativos de la DQO exceden el límite máximo permisible y que de los siete parámetros analizados solo el pH y la temperatura del agua se mantienen sin cambios significativos en sus niveles.

Alvarez, *et al.*, (2008) realizaron un estudio sobre la calidad del agua superficial en los diferentes almacenamientos y corrientes de la cuenca hidrológica del Río Amajac localizada en el Estado de Hidalgo, México. Trabajaron en cuatro presas, una laguna y cinco ríos, donde se midió el caudal, la velocidad del agua y el tirante máximo, además de determinar las principales características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas. De acuerdo con los resultados, se concluye que el agua del río en Tulancingo está fuertemente contaminada, que la presa La Esperanza se encuentra en estado avanzado de eutrofización y que las aguas del Río Amajac están libres de contaminantes y pueden utilizarse para todos los usos.

2.3 Antecedentes en Morelos

Dentro de los estudios realizados en el estado de Morelos respecto a la calidad del agua de sistemas lóticos, estos han sido elaborados por Instituciones Gubernamentales y en muchos de los casos no presentan un informe sobre sus resultados.

A continuación, solo se mencionan algunos trabajos realizados en ambientes lóticos que consideran aspectos biológicos e incluyen calidad del agua.

Tavira (2010), hace una comparación de las diatomeas fitoplanctónicas y epilíticas de 9 localidades del río Amacuzac durante dos periodos (1999 al 2000 y en el 2008) aplicando diferentes índices bióticos, con la finalidad de caracterizar la calidad del agua. Los índices bióticos señalaron una eutrofización acentuada en todas las localidades estudiadas.

Landa en el año 2012, analizó la composición y variación de la comunidad de diatomeas epilíticas, en seis sitios de muestreo en el río Amacuzac, así como de algunos parámetros fisicoquímicos del agua y la relación que guardan entre sí, durante octubre de 2008 a marzo 2009.

Gómez (2017), analizó la composición de la comunidad de diatomeas epilíticas y fitoplanctónicas, y el registro de algunos parámetros físicos y químicos del agua en diferentes hábitats de la microcuenca Coaxitlán límites entre Morelos y Guerrero. Reconoció 75 especies distribuidas en 3 clases, 11 órdenes, 21 familias y 37 géneros.

Breton-Deval, *et al.*, (2019) analizaron la calidad del agua y la dinámica de la comunidad bacteriana utilizando metagenómica en el Río Apatlaco en Morelos en 17 puntos de muestreo, señalan que el sitio 10 (Real de Puente) presentó el nivel más alto de contaminación y respecto a la comunidad bacteriana, mencionan que en general, las proteobacterias fue el filo más representativo en todos los sitios, así

mismo señalan que en sitios contaminados se encontró una gran abundancia de géneros patógenos oportunistas como *Acinetobacter*, *Arcobacter* y *Myroides*, entre otros, lo que sugiere que, además de la contaminación del agua, existe un riesgo inminente para la salud humana debido a agentes patógenos.

3. JUSTIFICACIÓN

El deterioro de los ecosistemas continentales es inminente en cuanto a la reducción y desaparición de diferentes cuerpos de agua. La mala calidad de sus aguas es el resultado de las actividades antropogénicas que se desarrollan en éstos, el mal uso de los recursos hídricos y los cambios atmosféricos que se están presentando de manera cada vez más constante, lo cual provoca la reducción o desaparición de comunidades biológicas. Por ello la importancia de conocer las condiciones físicas y químicas de estos, ya que al tener registros de los factores abióticos se podrán realizar propuestas de conservación, tanto de las especies que en estos habitan como del propio ecosistema acuático.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la composición fisicoquímica del agua en el Arroyo Quilamula, localidad Cruz Pintada.

4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar algunos parámetros fisicoquímicos del agua en el arroyo.
- Analizar los cambios en los parámetros fisicoquímicos que se presentan durante el estudio.

5. ÁREA DE ESTUDIO

5.1 Localización Geográfica

El municipio de Tlaquiltenango se encuentra ubicado en las provincias fisiográficas del Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur. Se localiza entre las coordenadas 18° 20' y 18° 40' N; 98° 55' y 99° 14' O. Se encuentra a una altitud de 800 a 1900 msnm colindando al norte con los municipios de Jojutla, Tlaltizapán, Ayala y Tepalcingo; al este con el municipio de Tepalcingo y estado de Puebla; al sur con los estados de Puebla y Guerrero; al oeste con el estado de Guerrero y los municipios de Puente de Ixtla, Jojutla y Tlaltizapán. Posee una extensión territorial de 581.778 km², lo que representa el 11.14% de la superficie total del estado de Morelos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, 2009).

Los municipios de Tlaquiltenango, Amacuzac, Puente de Ixtla, Jojutla y Tepalcingo conforman la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH) ubicado al sur del estado de Morelos cubriendo una superficie de 59 031.0 ha presenta una altitud que va de los 700 a los 2 200 msnm. El límite natural al suroeste es el río Amacuzac y los cerros más importantes son el Temazcal, los Chivos, Pericón, El Jumilar, Frío, Potrero Los Burros, Cuacle y la Sierra de Huautla (Bobadilla, 2015).

En la REBIOSH se presentan tanto ecosistemas terrestres, predominantes, como acuáticos. El principal tipo de ecosistema terrestre corresponde al de Selva Baja Caducifolia (SBC) (Miranda y Hernández-X., 1963), las características fisonómicas principales residen en su marcada estacionalidad climática, originando que la mayor parte de las especies vegetales pierdan sus hojas por periodos de cinco a siete meses, en la época seca del año (Dorado *et al.*, 2005). La temperatura media anual es un factor determinante para definir la distribución de SBC la cual oscila entre los 20° y 29°C.

Los ecosistemas acuáticos en su mayoría son temporales, presentando un número limitado. El único afluente permanente en la REBIOSH es el río Amacuzac siendo el aporte más importante del estado de Morelos (Bobadilla, 2015).

5.2 Hidrología

La REBIOSH se localiza en la región hidrológica RH 18 dentro de la cuenca del río Balsas, en la subcuenca del río Amacuzac. Presenta tres subcuencas, hacia el norte, cerca de Nexpa se localiza la del río Cuautla, hacia la región de Cerro Frío se ubica la subcuenca del río Salado, y en la subregión de Huautla, se localiza la subcuenca del arroyo de Quilamula drenando todos hacia el Amacuzac al oriente (Bobadilla, 2015).

El arroyo Quilamula es el aporte principal que abastece a la Presa Lorenzo Vázquez, este reservorio representa el 0.06% de los recursos hidrológicos del municipio de Tlaquiltenango utilizado para retener agua con fines agrícolas y ganaderos. Este arroyo es temporal y lleva agua solamente durante la época de lluvias, sin embargo, después del reservorio el cauce del arroyo mantiene el flujo de agua todo el año, debido al drenado constante de la Presa (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2009).

5.3 Ubicación y descripción de las Estaciones de Muestreo

Para la realización de este trabajo se consideraron tres estaciones que a continuación se describen (Figura1).



Figura 1. Localización del área de estudio (Elaborado por Milagros Córdova Athanasiadis, 2015).

Estación 1 (E1): Se encuentra ubicada entre las coordenadas 18° 32' 09" N y 99° 01' 48" O a una altitud de 996 msnm. Se presenta una vegetación terrestre baja de árboles, pasto y nopalera. El agua es turbia, con mal olor, hay presencia de vegetación acuática en las márgenes y el sustrato es lodoso (Figura 2).



Figura 2. Estación 1 ubicada antes de la Presa Lorenzo Vázquez.

Estación 2 (E2): Ubicada entre las coordenadas 18° 28' 14" N y 99° 02' 22" O. Con una altitud de 984 msnm. En cuanto a la vegetación terrestre es baja con presencia de árboles y arbustos. El agua es clara con una velocidad de corriente lenta y sustrato rocoso (Figura 3).



Figura 3. Estación 2 ubicada después de la Presa Lorenzo Vázquez.

Estación 3 (E3): Ubicada entre las coordenadas $18^{\circ} 27' 41''$ N y $99^{\circ} 02' 04''$ O. A una altitud de 982 msnm. Se localiza en la obstrucción del arroyo por una plataforma de concreto (vado). La vegetación terrestre es baja con presencia de árboles y arbustos. El agua es clara con presencia de hojarasca y vegetación acuática, cuenta con una corriente muy lenta y el sustrato es rocoso (Figura 4).



Figura 4. Estación 3 ubicada en la obstrucción del arroyo (plataforma de concreto-vado).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo durante el periodo junio 2013-febrero 2014, cubriendo el periodo de lluvias (junio, julio, agosto y octubre) y principio de secas (diciembre y febrero), realizando seis muestreos. El trabajo se dividió en tres etapas: i) Trabajo de campo; ii) Trabajo de laboratorio y iii) Análisis de datos.

6.1 Trabajo de campo

6.1.1 Determinación de parámetros fisicoquímicos *in situ*

En cada estación de muestreo se registró la temperatura del agua, profundidad, pH, conductividad, total de sólidos disueltos y oxígeno (Tabla 1).

6.2 Trabajo de laboratorio

6.2.1 Determinación de parámetros fisicoquímicos

Se recolectó una muestra de agua en cada una de las estaciones con un recipiente de plástico con capacidad de un litro previamente etiquetado, se transportaron en frío hasta su determinación en el laboratorio. Los parámetros que se determinaron fueron dureza total, alcalinidad total y cloruro, empleando técnicas colorimétricas descritas por American Public Health Association (APHA, 1992). Así mismo, se realizaron determinaciones de nitrato, nitrógeno amoniacal, amonio, fósforo total y sílice a través de técnicas espectrofotométricas (Tabla 1).

Tabla 1. Métodos y técnicas de los parámetros fisicoquímicos del agua registrados.

Parámetro	Unidades	Método empleado	Determinación
Temperatura	(°C)	Oxímetro YSI Model 58 Oxímetro HANNA	<i>In situ</i>
Profundidad	(m)	Varilla de acero graduada	<i>In situ</i>
pH	(unidades)	Potenciómetro YSI	<i>In situ</i>
Conductividad	(μ S cm)	Determinador HANNA HI 99300	<i>In situ</i>
Total de Sólidos Disueltos	(mg L)	Determinador HANNA HI 99300	<i>In situ</i>
Oxígeno disuelto	(mg L O ₂)	Oxímetro YSI Model 58 Oxímetro HANNA	<i>In situ</i>
Alcalinidad total	(mgL de CaCO ₃)	Colorimetría/Titulación H ₂ SO ₄	Laboratorio
Dureza total	(mgL de CaCO ₃)	Colorimetría/Titulación EDTA	Laboratorio
Cloruro	(mgL de Cl ⁻)	Colorimetría/Titulación AgNO ₃	Laboratorio
Nitrato	(mgL NO ₃ ⁻)	Espectrofotometría/HACH DR/2010	Laboratorio
Nitrógeno amoniacal	(mgLNH ₃ -N)	Espectrofotometría/HACH DR/2010	Laboratorio
Amonio	(mgLNH ₄ ⁺)	Espectrofotometría/HACH DR/2010	Laboratorio
Fósforo total	(mgL P)	Espectrofotometría/HACH DR/2010	Laboratorio
Sílice	(mgL SiO ₂)	Espectrofotometría/HACH DR/2010	Laboratorio

6.4 Análisis de los datos

Una vez obtenidos los datos de los parámetros fisicoquímicos y nutrientes se consultó la literatura correspondiente que nos permitió interpretar un cuadro ambiental de las condiciones que se presentaron durante el periodo de estudio.

Con la finalidad de conocer la distribución de los datos se aplicaron dos pruebas de

normalidad, Shapiro-Wilks y JarqueBera con un nivel de significancia de 0.05% para posteriormente emplear la prueba de varianza adecuada para saber si existen diferencias significativas entre las estaciones y los meses de muestreo, empleando el paquete estadístico XLSTAT 2009.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las pruebas de normalidad Shapiro-Wilks y Jarque Bera indicaron que los datos presentan una distribución normal por lo cual, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA). Para la descripción de los datos se consideraron los valores mínimo, máximo, diferencia entre mínimo y máximo, promedio, desviación estándar (DE). El resultado de la prueba de varianza para cada uno de los parámetros que se registraron a continuación se describe:

Temperatura

La temperatura del agua presentó valores con una tendencia homogénea durante los meses de agosto-septiembre con descenso hacia los meses de invierno diciembre-febrero con excepción de la E1 que presentó un aumento. La E1 registró un valor mínimo y máximo de 26 y 31.4°C (± 5.4) respectivamente, con un promedio de 28.7°C y una desviación estándar (DE) de 2.2. En cuanto a la E2 se registraron valores de 23.7 a 31.8°C (± 8.1) con un promedio de 28.3°C y una DE de 3.5. Para la E3 el mínimo fue de 22.5 y el máximo de 30.2°C (± 7.7), un promedio de 27.2°C y una DE de 2.94. De acuerdo con el ANOVA no se presentaron diferencias significativas entre las estaciones de muestreo ($P > 0.05$) pero si entre los meses ($P < 0.05$) (Figura 5).

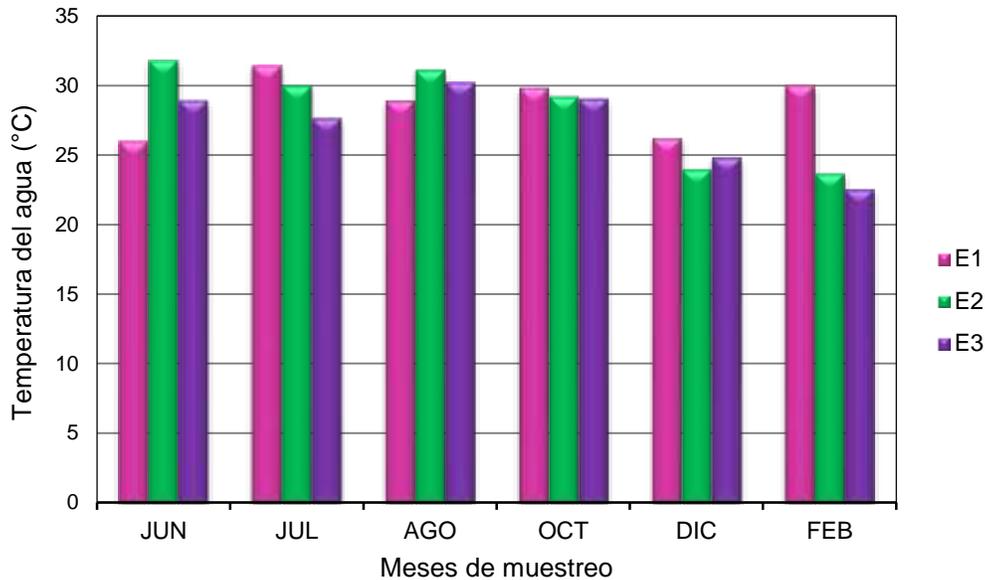


Figura 5. Valores de temperatura del agua en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

La temperatura es una variable ambiental muy importante en los sistemas acuáticos que influye en las actividades metabólicas de los organismos que los constituyen, en la que se incluye a los productores primarios, así como también en el incremento de las tasas de producción de éstos. La temperatura del agua se establece por la absorción de radiación en las capas superficiales, las variaciones que se presentan afectan la solubilidad de sales y gases en el agua que inciden en el comportamiento microbiológico (Marín, 2003).

Los valores de temperatura registrados presentaron cambios durante el estudio, estos cambios son atribuidos a factores como la profundidad y estacionalidad, tal como lo menciona Torres-Orozco y García-Calderón (1995), quienes señalan que la temperatura está influenciada por las condiciones ambientales de la zona y la incidencia de luz solar, la estacionalidad y la profundidad del agua que permite que el calor sea retenido. De acuerdo con Oliva-Martínez *et al.*, (2005) las aguas del arroyo son consideradas templadas. La Environmental Protection Agency (EPA, 1976) establece como límite permisible para la vida acuática en ambientes naturales un valor de $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$.

Profundidad

La profundidad mostró variaciones homogéneas en la E1 y E2 que no rebasaron los 0.50 m con respecto a la E3. En la E1 los valores mínimo y máximo fueron de 0.15 y 0.46 m (± 0.31) con un promedio 0.30 m y una DE de 0.10. En cuanto a la E2 se registraron valores de 0.14 a 0.45 m (± 0.31) con un promedio de 0.28 m y una DE de 0.30. Con relación a la E3 los valores fluctuaron de 0.55 a 1.50 m (± 0.95) registrando un promedio de 1.04 m y una DE de 0.30. De acuerdo al ANOVA se presentaron diferencias significativas entre las estaciones y los meses de muestreo ($P < 0.05$) (Figura 6).

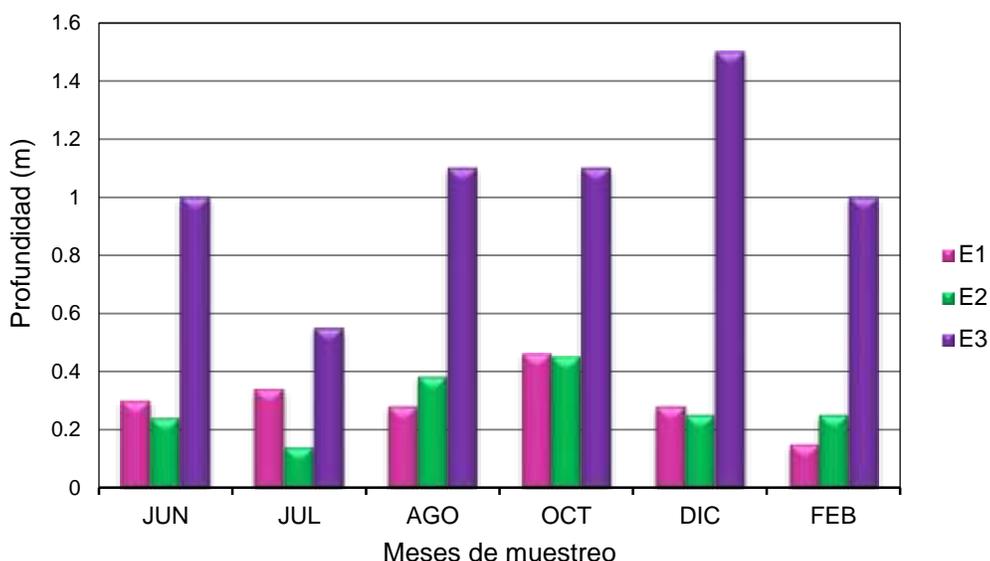


Figura 6. Valores de profundidad en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

La profundidad presente en un arroyo varía de acuerdo a la geomorfología o irregularidad de la cuenca, incrementando o haciéndose notable cuando el volumen de agua aumenta y la velocidad de corriente disminuye. La profundidad, la velocidad de corriente y la temperatura son factores muy importantes para el desarrollo de ciertas comunidades biológicas, o bien, actividades fisiológicas que las especies pueden llevar a cabo, como es la reproducción (Georgina Adopte-un Arroyo, 2004). Es importante mencionar que las estaciones están ubicadas en diferentes altitudes

originando una pendiente, a través de la cual se van presentando diferentes elementos como son la vegetación y el tipo de substrato.

En el caso de la E1 (996 msnm) representa la parte alta considerada como cabecera o ribera la cual corresponde al nivel normal máximo de agua, circundada por diferentes tipos de vegetación terrestre y acuática en las márgenes del arroyo con un substrato fangoso. En la E2 (984 msnm) se representa el cañón, parte estrecha de agua que puede aumentar su caudal y velocidad de corriente en la época de lluvias con aguas turbulentas que pasan rápido sobre las rocas, parcial o totalmente cubiertas de agua, presencia de pozas, laderas pedregosas, vegetación propia de la selva baja, y ausente en las márgenes, en esta estación se presentó un máximo en el mes de agosto que puede ser atribuido a la temporada de lluvias.

En la E3 (982 msnm) corresponde la parte baja, plano o planicie generalmente con una velocidad de corriente baja, poca turbulencia, substrato de cantos rodados, cauce ancho, presencia de árboles, arbustos, vegetación acuática y hojarasca, en esta estación se presentaron los valores más altos durante todo el periodo de estudio, lo cual, puede deberse a la presencia de lluvias y a que es el sitio de mayor acumulación de agua con presencia de pozas.

pH

El pH presentó una tendencia de incremento durante los meses de junio, julio y agosto, con descenso en los meses posteriores octubre, diciembre y febrero con excepción de este último en la E1. Los valores registrados en la E1 fueron de 7.1 a 8.2 u (± 1.1) con un promedio de 7.8 u y una DE de 0.44. En la E2 se presentaron de 7.1 a 8.8 u (± 1.7) con un valor promedio de 7.8 u y una DE de 0.62. Para la E3 el valor mínimo y máximo fue de 7.2 a 8.1 u (± 0.8) con un promedio de 7.7 y una DE de 0.36. En cuanto al ANOVA las variaciones registradas por estación no fueron significativas ($P > 0.05$), caso contrario se presentó entre los meses de muestreo ($P < 0.05$) (Figura 7).

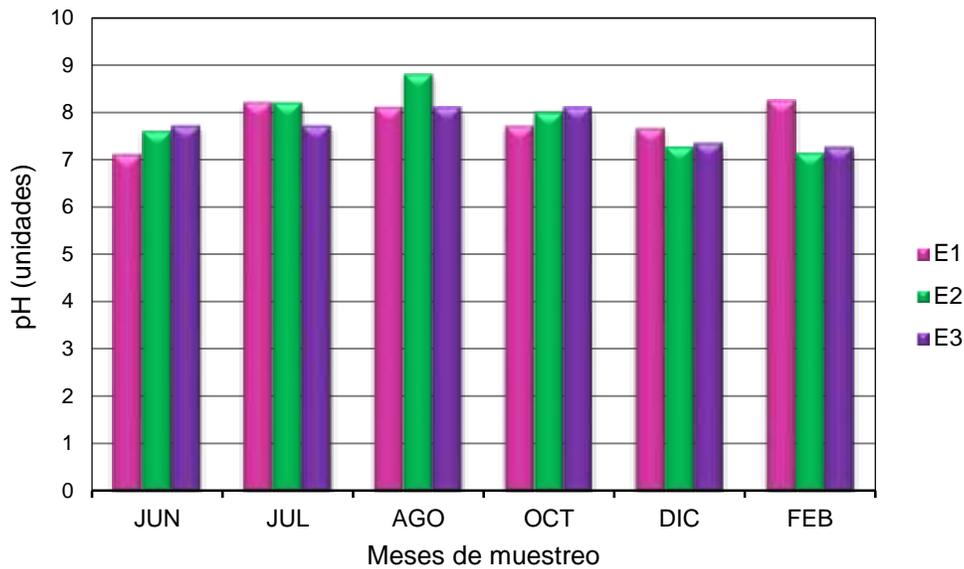


Figura 7. Valores de pH en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

El pH es un factor abiótico que regula procesos biológicos mediados por enzimas, como son la fotosíntesis y la respiración, la disponibilidad de nutrientes esenciales que limitan el crecimiento microbiano de muchos ecosistemas (NH_4^+ , PO_4^{3-} y Mg^{2+}) y la movilidad de metales pesados como el cobre, que es tóxico para muchos microorganismos, entre otros. El rango de pH en la mayor parte de los cuerpos de agua dulce no contaminados y mencionado como límite permisible para la vida acuática es de 6.0 a 9.0 (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología; SEDUE, 1990; Fuentes y Massol-Deyá, 2002). En el presente trabajo no se sobrepasa el límite permisible, y de acuerdo con los valores registrados Quilamula presenta aguas de ligeramente alcalinas a alcalinas (Gama *et al.*, 2010).

Conductividad

Los valores de conductividad mostraron incremento entre los meses de junio-julio y diciembre-febrero, con un descenso entre agosto-octubre, registrando los valores más bajos en este último mes. En la E1 se registraron valores entre 360 a 572 $\mu\text{S cm}$ (± 212) con un promedio de 473.7 $\mu\text{S cm}$ y una DE de 94. En cuanto a la E2 las concentraciones fluctuaron de 290 a 480 $\mu\text{S cm}$ (± 190), un promedio de 395.7 $\mu\text{S cm}$

cm y una DE de 190. Finalmente, en la E3 se presentaron valores de 280 a 500 $\mu\text{S cm}$ (± 220), con un promedio de 420.8 $\mu\text{S cm}$ y una DE de 76.1. En cuanto al análisis de ANOVA se presentaron diferencias significativas entre estaciones y meses de muestreo ($P < 0.05$) (Figura 8).

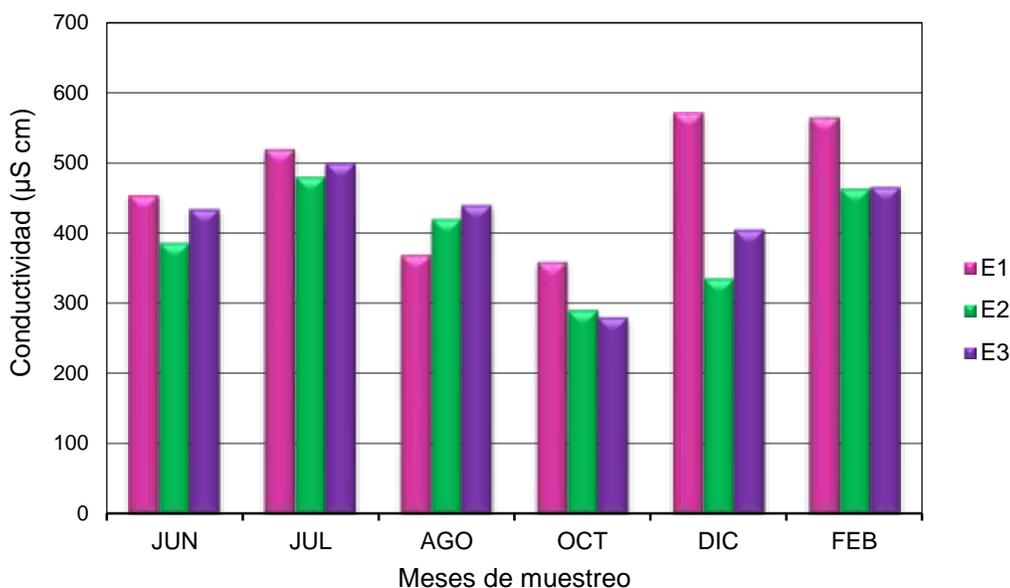


Figura 8. Valores de conductividad en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

La conductividad se refiere a la cantidad de electrólitos (aniones⁻ y cationes⁺) disueltos que presenta el agua, la concentración de éstos está dada por la composición química y origen de la cuenca, así como la disolución de las rocas y minerales presentes. Las concentraciones registradas en la mayor parte del muestreo no sobrepasaron los 500 $\mu\text{S cm}$ que mencionan como límite permisible Roldán *et al.* (2001).

Por otra parte, los valores más bajos se presentaron durante agosto-octubre debido probablemente a un proceso de dilución, e incrementaron en diciembre-febrero cuando empieza la época de secas, lo cual, corresponde a una fase de concentración, situación inversa a lo reportado por Tavira (2010) quien reporta concentraciones mayores (800 a 1 200 $\mu\text{S cm}$). Finalmente, estas aguas

corresponden a aguas diluidas (salinidad media) con altas tasas de renovación (Torres-Orozco y García-Calderón, 1995; Gama *et al.*, 2010).

Total de sólidos disueltos

Los valores registrados mostraron una tendencia heterogénea, incrementos en junio-julio, descenso durante agosto-octubre-diciembre e incremento en febrero. La E1 presentó valores de 180 a 274 mg L (± 94) con un promedio de 230.5 mg L y una DE de 41.27. Para la E2 se observaron concentraciones de 150 a 240 mg L (± 90) con un promedio de 196 mg L y una DE de 34.28. Para la E3 se registraron valores de 140 a 250 mg L (± 110) con un promedio de 200 mg L y una DE de 38.47. En cuanto al ANOVA se presentaron diferencias significativas en cuanto a las estaciones y meses de muestreo ($P < 0.05$) (Figura 9).

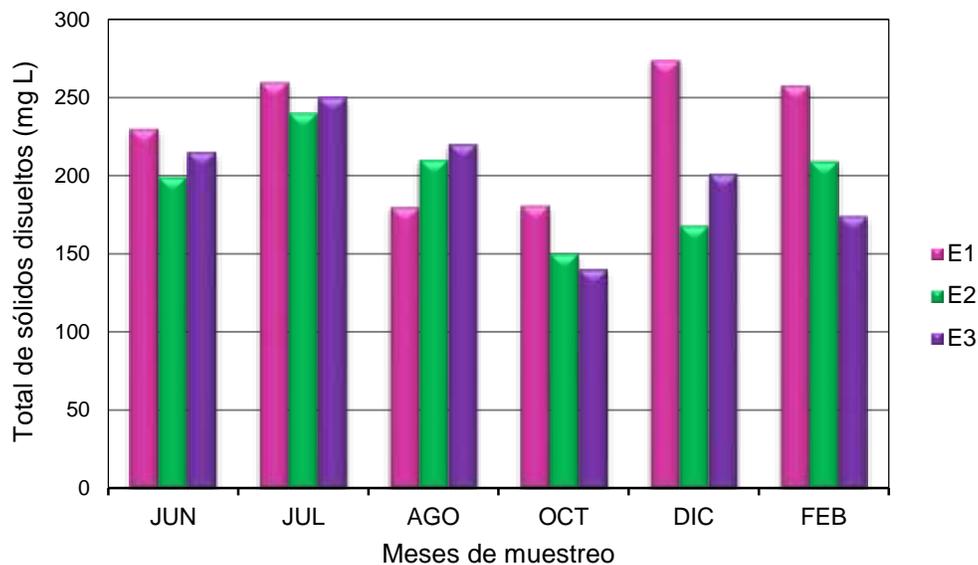


Figura 9. Valores de total de sólidos disueltos en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

El total de sólidos disueltos se refiere a la cantidad de materia que se encuentra disuelta en el agua, que se relaciona con la turbidez y la transparencia. Fuentes y Massol-Deyá (2002) mencionan para los ríos un valor promedio de 120 mg L de sólidos disueltos, sobrepasando dicho valor en este trabajo. Sin embargo, son valores bajos comparados con lo reportado por Tavira (2010) para el río Amacuzac

quien registró concentraciones de 500 a 1 400 mg L y Gómez (2017) quien reporta valores de 51 a 641 mg/L para la microcuenca Coaxitlán.

Oxígeno disuelto

Los valores de oxígeno disuelto fueron incrementando hacia los meses de agosto-octubre, disminuyendo en el mes de diciembre y aumentando nuevamente durante febrero. En la E1 se registraron valores de 2.8 a 8.5 mg L (± 5.7) con un promedio de 5.2 mg L y una DE de 1.9. En la E2 se reportaron concentraciones de 1.8 a 6.0 mg L (± 4.2), un promedio de 3.9 mg L y una DE de 1.7.

Finalmente, en la E3 los valores fueron de 2.3 a 5.1 mg L (± 2.8), con un promedio de 3.8 mg L y una DE de 1.12. En cuanto al ANOVA se presentaron diferencias significativas entre las estaciones y los meses de muestreo ($P < 0.05$) (Figura 10).

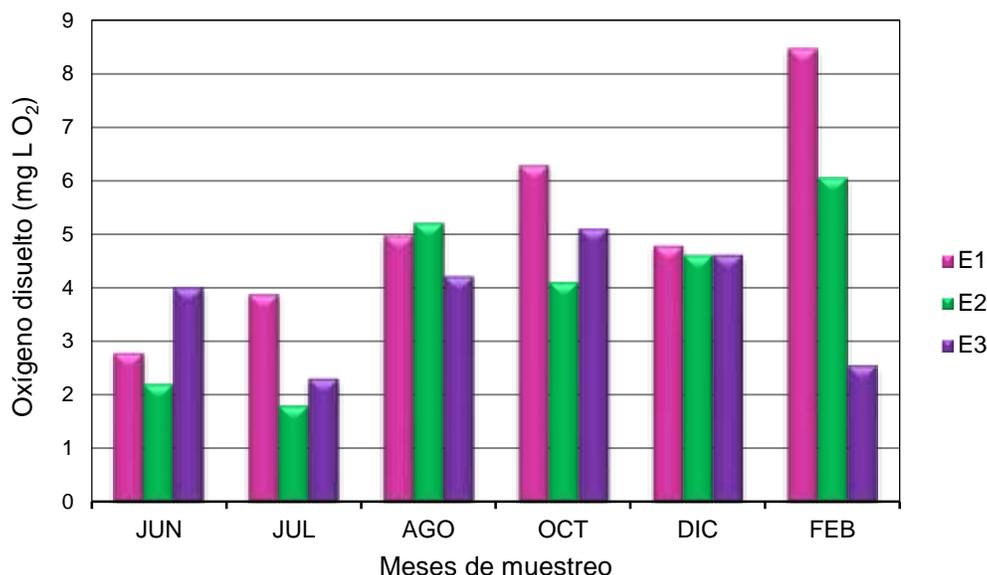


Figura 10. Valores de oxígeno disuelto en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

El oxígeno disuelto es una variable importante de la calidad del agua. SEDUE (1990) menciona como límite permisible 4 mg L de O₂. Se observaron valores por debajo al comentado anteriormente durante junio-julio debido probablemente a que la corriente de agua era baja, ya que iniciaba la época de lluvias, y en el mes de febrero

en la E3 que corresponde a la parte baja del arroyo, donde se considera parte de la época de secas, lo cual pudo reducir el cauce de agua. Es importante mencionar que no se desarrolla ninguna actividad que pudiera requerir una mayor concentración de oxígeno, por lo cual se consideran aguas de ligera a muy oxigenadas de acuerdo a la naturaleza del sistema (Gama *et al.*, 2010).

Alcalinidad total

Se observa un descenso entre los valores en los meses de agosto-octubre con un incremento en diciembre-febrero. La E1 registró valores de 133 a 195 mg L CaCO₃ (± 62) con un promedio de 169.7 mg L y una DE de 24.6. En la E2 se presentaron concentraciones de 95 a 178 mg L (± 92), un promedio de 155.3 mg L y una DE de 35.9. Para la E3 los valores fluctuaron de 99 a 167 mg L (± 68), con un promedio de 133.2 mg L y una DE de 28.01. De acuerdo al ANOVA las diferencias que presentaron los valores fueron significativas entre las estaciones y los meses de muestreo ($P < 0.05$) (Figura 11).

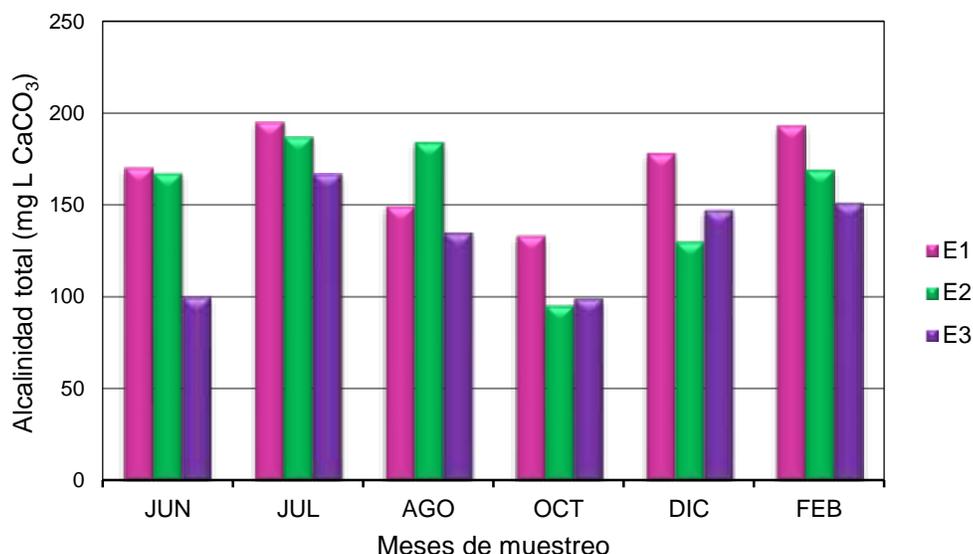


Figura 11. Valores de alcalinidad en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

La alcalinidad del agua es una función del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos alcalinos y alcalinotérreos, guarda una relación estrecha con el dióxido

de carbono y el pH, así como con la geología de la cuenca. Los valores registrados de pH corresponden a condiciones alcalinas acordes con las concentraciones presentes de la alcalinidad.

De acuerdo a la SEDUE (1990) el límite permisible que se considera para la vida acuática es de 250 mg L CaCO_3 , las concentraciones que se obtuvieron se encuentran dentro del intervalo establecido. Blanco y Scatena (2006) mencionan que la cantidad de carbonatos y calcio pueden ser mayores en los ríos cuando la cuenca está constituida por rocas volcánicas, en este caso las cuencas principales del país presentan este origen. De acuerdo a Kevern *et al.* (1989) las aguas del arroyo Quilamula van de una media a una alta alcalinidad (de 75 a >150 mg L).

Dureza total

La tendencia de variación de los datos registrados fue muy heterogénea, sin embargo, se puede mencionar que los valores más bajos en las tres estaciones se presentaron en el mes de febrero. La E1 registró concentraciones de 68 a 134 mg L CaCO_3 (± 66), con un promedio de 102.7 mg L y una DE de 25.35. Para la E2 los valores fluctuaron de 48 a 128 mg L (± 80) un promedio de 86 mg L y una DE de 34.4. La E3 presentó un mínimo de 56 y un máximo de 124 mg L (± 68), y una DE de 25.2. En cuanto al ANOVA no se encontraron diferencias significativas entre los valores por estación ($P > 0.05$) pero si entre meses de muestreo ($P < 0.05$) (Figura 12).

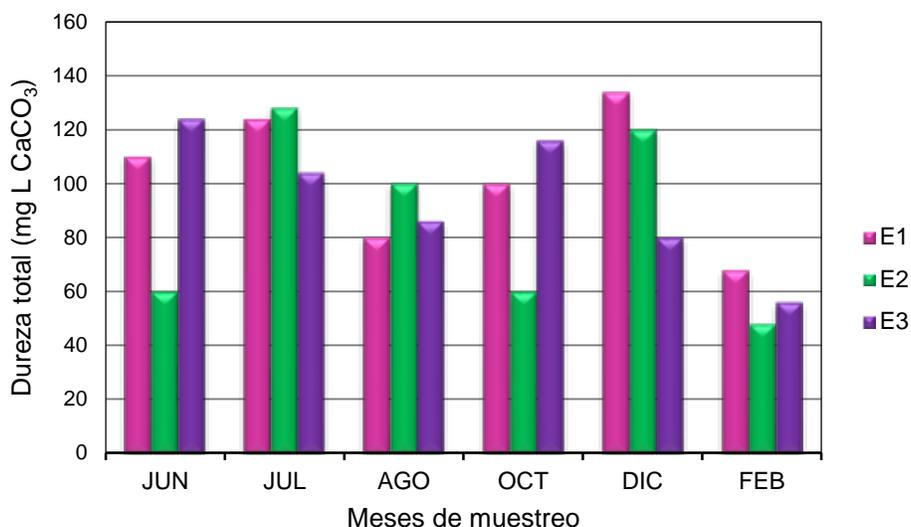


Figura 12. Valores de dureza en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

La dureza total está en función de la concentración de Ca y/o Mg en el medio, mantiene una fuerte relación con el origen geológico de la cuenca. De acuerdo a la clasificación de Wheaton 1982 (mencionado en Gama *et al.*, 2010) las aguas del arroyo Quilamula van de suaves a moderadamente duras, comparando con Tavira (2010) en un registro del periodo 1999-2000 en el río Amacuzac obtuvo concentraciones máximas de 300 mg L (lluvias) y de 355 mg L (secas) considerándose aguas de ligeramente duras a muy duras, siendo valores mayores que los obtenidos en este trabajo.

Cloruros

La tendencia de variación que presentaron los valores de cloruro en las tres estaciones de muestreo fue de descenso durante los meses de julio-agosto-octubre con un posterior aumento en los meses de diciembre-febrero. En la E1 se registraron valores de 1.8 a 8 mg L Cl⁻ (± 6.2), con un promedio de 5.2 mg L y una DE de 2.13. En cuanto a la E2 las concentraciones fluctuaron de 2 a 6.8 mg L (± 4.8), con un promedio de 4.6 mg L y una DE de 1.71. Para la E3 se presentó un valor mínimo de 1.8 mg L y un máximo de 7.4 mg L (± 5.6), con un promedio de 4.9 mg L y una DE de 2.23. De acuerdo al ANOVA no se registraron diferencias significativas

entre las estaciones de muestreo ($P>0.05$) pero si entre los meses ($P<0.05$) (Figura 13).

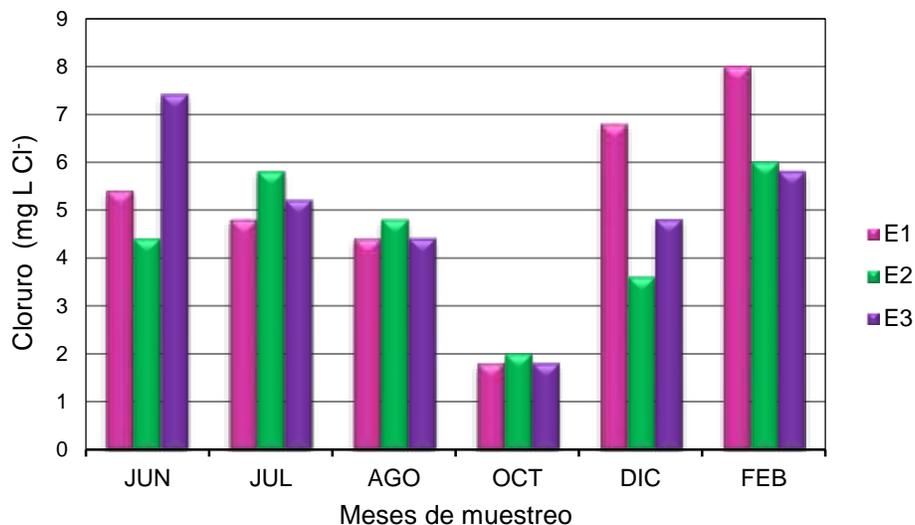


Figura 13. Valores de cloruro en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

El cloruro en las aguas continentales es uno de los principales aniones, su concentración en algunos casos puede ser alta (>250 mg L Cl⁻), sin embargo la United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2006) establece un valor de 23 mg L Cl⁻ valor definido en términos de la concentración de cloruro máxima que se puede encontrar en el agua superficial, a la cual las comunidades acuáticas pueden ser expuestas de manera continua sin causar efectos adversos.

Las concentraciones registradas para el arroyo Quilamula no sobrepasan ninguno de los dos límites propuestos, estas aguas presentan una concentración moderada de cloruro. Por otra parte, la disminución de cloruro durante los meses de julio-agosto-octubre puede deberse al proceso de dilución producto de la época de lluvias, mientras que el incremento en los meses de diciembre-febrero corresponde al proceso de concentración debido a la época de secas.

Nitrato

Las concentraciones del nitrato mostraron valores muy heterogéneos no rebasando los 6 mg L $\text{NO}_3\text{-N}$ en la mayoría de las estaciones, con excepción de la E2 en el mes de diciembre y la E1 en el mes de febrero. La E1 registró concentraciones de 0.4 a 13.7 mg L (± 13.3) con un promedio de 3.5 mg L y una DE de 5.07. La E2 registró concentraciones de 0.7 a 8.5 mg L (± 7.8), con un promedio de 2.9 mg L y una DE 2.85. En cuanto a la E3 los valores fueron de 0.3 a 5.3 mg L (± 5), con un promedio de 2.1 mg L y una DE de 5. Con respecto al análisis de ANOVA se encontraron diferencias significativas entre estaciones ($P < 0.05$) pero no entre meses de muestreo ($P > 0.05$) (Figura 14).

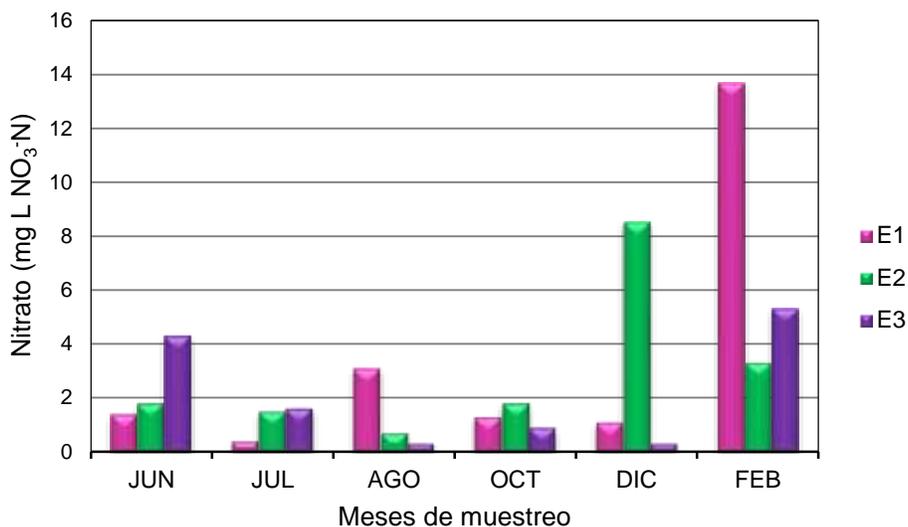


Figura 14. Valores de nitrato en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

El nitrato en el agua procede de la disolución de rocas y minerales, de la descomposición de materia vegetal y animal, de efluentes industriales y del lixiviado de tierras de labor que utilizan abonos que los contienen en su formulación (Marín, 2003). De acuerdo a la NOM-127.SSA1-1994 (1996) las aguas naturales no deben rebasar los 10 mg L, sin embargo, la Normativa Canadiense (CCME, 1999) sugiere para la protección de la vida acuática un valor de 13 mg L $\text{NO}_3\text{-N}$, valor acorde a lo registrado en el presente trabajo. Por otra parte, se observaron dos incrementos importantes en el mes de diciembre en la E2 quizás como parte del arrastre y

procesos biológicos y en el mes de febrero en la E1 alcanzando la máxima concentración, esta zona presenta mayor contacto con la población de Cruz Pintada que pudo haber influido con el resultado obtenido.

Tavira (2010) registró para el río Amacuzac durante el periodo 2008 valores de 9.7 a 16.5 mg L $\text{NO}_3\text{-N}$ que son más altos a los del presente trabajo, es importante mencionar que el río Amacuzac recibe diferentes aportes de otros tributarios, además de una gran carga de materia orgánica. Gomez (2007) para la microcuenca Coaxitlán reporta valores de 0.1 a 2.6 mg L $\text{NO}_3\text{-N}$ valores más bajos que los registrados en este estudio.

Amonio

La tendencia del amonio fue similar al del nitrógeno amoniacal, incremento en los meses de lluvia agosto-octubre, con descenso en los meses de julio (inicio de lluvias) y diciembre (inicio de secas), siendo una etapa de transición, y dos máximos en época de secas junio 2013 y febrero 2014. Para la E1 los valores fueron de 0.19 a 0.54 mg L NH_4^+ (± 0.35), con un promedio de 0.35 mg L y una DE de 0.13. En cuanto a la E2 las concentraciones fluctuaron de 0.26 a 0.54 mg L (± 0.28) con un promedio de 0.41 mg L y una DE de 0.10. Finalmente, la E3 presentó valores de 0.01 a 0.47 mg L (± 0.46) con un promedio de 0.27 y una DE de 0.17. De acuerdo al ANOVA los valores registrados presentaron diferencias significativas entre las estaciones y los meses de muestreo ($P < 0.05$) (Figura 16).

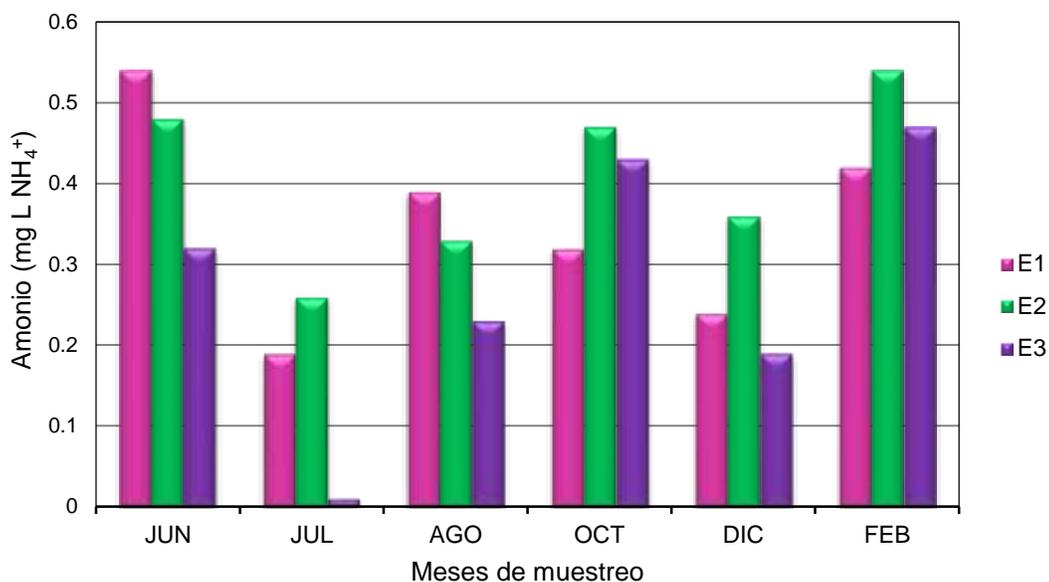


Figura 16. Valores de amonio en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

El amonio es un compuesto en el más bajo nivel de oxidación del elemento, siendo el destino final de la reducción de sustancias orgánicas e inorgánicas, fácil de asimilar por los productores primarios. Gama *et al.*, (2010) menciona para aguas superficiales naturales un valor <10 mg L NH₄⁺ y para aguas contaminadas >50 mg L NH₄⁺, los valores obtenidos no sobrepasan el límite para aguas superficiales naturales, sin embargo, las aguas presentan una cantidad considerable de amonio como producto posiblemente del deslave del suelo y rocas, fertilizantes de las zonas de cultivo y del aporte animal que en este caso es el ganado. Tavira (2010) reporta para el río Amacuzac valores de 0.087 a 0.484 mg L y Landa (2011) reporta para el mismo sistema durante un periodo de secas valores de 0.05 a 0.35 mg L NH₄⁺, guardando cierta similitud con los registrados en este trabajo.

Fosforo total

Las concentraciones de fósforo total mostraron una tendencia heterogénea, tanto entre las estaciones como entre los meses de muestreo, sin embargo, en el mes de octubre se observó un descenso en los valores de las tres estaciones seguido de un incremento en el mes de diciembre.

La E1 presentó valores de 1.57 a 3.21 mg L P (± 1.64), con un promedio de 2.53 mg L y una DE de 0.65. En cuanto a la E2 las concentraciones fluctuaron de 1.41 a 3.34 mg L (± 1.93), con un promedio de 2.18 mg L y una DE de 0.81. La E3 registró valor mínimo de 1.2 y máximo de 2.42 mg L (± 1.25), con un promedio de 1.67 mg L y una DE de 0.45. En cuanto al ANOVA se presentaron diferencias significativas entre las estaciones de muestreo ($P < 0.05$) pero no entre los meses ($P > 0.05$) (Figura 17).

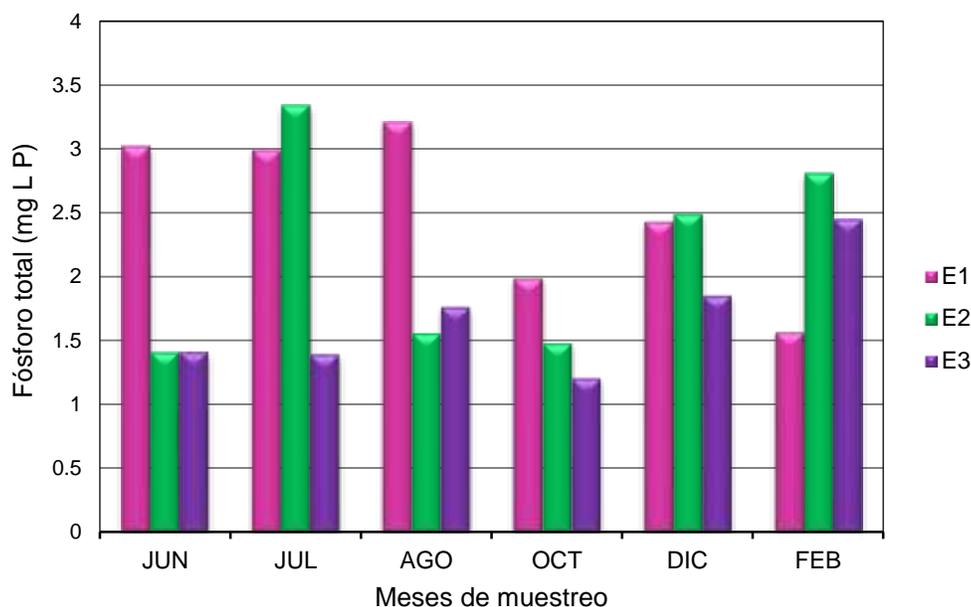


Figura 17. Valores de fósforo total en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

El fósforo y el nitrógeno son dos de los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos en altas concentraciones en el agua pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática (eutrofización). Una gran parte de fósforo presente en las aguas se debe al uso de abonos fosfatados y detergentes (Aznar, 2000). En el presente estudio se observó un descenso en el mes de octubre que puede corresponder a una fase de dilución y un incremento en los meses siguientes diciembre-octubre en la mayoría de las estaciones, lo cual pudo deberse a una fase de concentración por la reducción del cauce.

La SEDUE (1990) menciona un límite permisible para la vida acuática de 0.1 mg L P valor que es rebasado en el presente trabajo, por otra parte, de acuerdo al CCME

(2005) el arroyo Quilamula presenta altas concentraciones de fósforo total (>0.1 mg L P) considerándose aguas hipereutróficas.

Sílice

Las concentraciones de sílice presentaron una tendencia de disminución en los meses de julio y diciembre y de incremento en los meses de agosto-octubre (valores máximos) y febrero. La E1 presentó un valor mínimo de 0.075 y un máximo de 4.77 mg L SiO₂ (± 4.7), con un promedio de 2.12 mg L y una DE de 1.84. En la E2 se registraron concentraciones de 0.03 a 13.41 mg L (± 13.4), con un promedio de 4.34 mg L y una DE de 4.97. Finalmente, en la E3 las concentraciones de sílice fueron de 0.002 a 16.46 mg L (± 5.9), con un promedio de 5.12 mg L y una DE de 5.9. Con respecto al ANOVA se presentaron diferencias significativas entre las estaciones como en los meses de muestreo (P<0.05) (Figura 18).

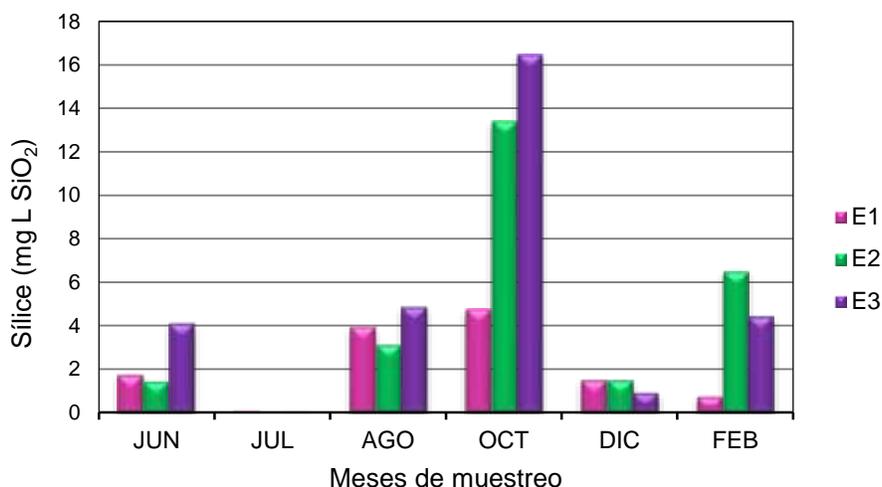


Figura 18. Valores de sílice en el Arroyo Quilamula, Cruz Pintada.

La concentración de sílice en aguas interiores varía entre 0.2 y 60 mg L SiO₂. Estos valores pueden aumentar con el aporte de sílice y silicatos provenientes de los sedimentos, del aporte aloctóno y de la incorporación que algunas especies de diatomeas liberan, considerándose hasta un 15 % del sílice presente en sus frústulas (Orozco *et al.*, 2003). Las variaciones que se registraron en el presente trabajo pueden deberse, en el caso de la disminución de sílice por su probable uso

por parte de las diatomeas, y los máximos por el aporte y mineralización del sedimento.

En la tabla 1 se presenta la caracterización del agua del arroyo Quilamula.

Tabla 1. Caracterización del agua de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos registrados en el arroyo Quilamula.

Parámetro	
Temperatura	Aguas templadas a cálidas (Goldsborough y Robinson, 1996; Oliva-Martínez <i>et al.</i> , 2005).
pH	Aguas ligeramente alcalinas a alcalinas (Arteta, 1984; citado en Gama <i>et al.</i> , 2010).
Conductividad	Aguas de baja a moderada salinidad (Gama <i>et al.</i> , 2010)
Total de Sólidos Disueltos	Aguas de baja a moderadamente altas concentraciones (Fuentes y Massol-Deyá, 2002).
Oxígeno disuelto	Aguas oxigenadas a muy oxigenadas (Gama <i>et al.</i> , 2010)
Dureza total	Aguas blandas a moderadamente duras Wheaton (1982).
Cloruro	Concentraciones bajas (EPA, 2006).
Nitrato	Concentraciones altas a muy altas Rojas (1999).
Nitrógeno amoniacal	Concentraciones ligeramente altas a muy altas (NOM-127-SSA1-1994, 2000).
Amonio	Concentraciones adecuadas a altas (Gama <i>et al.</i> , 2010)
Fósforo total	Concentraciones adecuadas a muy altas Angelier (2002).
Sílice	Concentraciones altas a muy altas (Fuentes y Massol-Deyá, 2002).

Finalmente considerando los valores de los nutrientes nitrogenados y fosforados y de acuerdo con la clasificación trófica descrita por Ramírez (2006), el arroyo Quilamula es oligotrófico a eutrófico en compuestos nitrogenados e hipereutrófico en compuestos fosforados.

8. CONCLUSIONES

Las diferencias observadas de los valores registrados de los parámetros fisicoquímicos se consideran están relacionados con la época de lluvias y estiaje, así como con las características propias de cada estación de muestreo.

La temperatura, pH, oxígeno, alcalinidad, conductividad, cloruros, nitratos y amonio presentaron valores que se ubican dentro de los límites permisibles para la vida acuática.

Las zonas estudiadas del arroyo Quilamula se caracterizaron como sitios de aguas templadas a cálidas, de ligeramente alcalinas a alcalinas, de baja a moderada salinidad, con una concentración de total de sólidos baja a moderadamente alta, oxigenadas a muy oxigenadas, de blandas a moderadamente duras y con niveles bajos de cloruros.

En relación a los compuestos nitrogenados y a la sílice, son aguas con concentraciones de adecuadas a muy altas. En cuanto a los compuestos fosfatados son aguas de adecuadas a muy altas.

De acuerdo a los registros obtenidos de los compuestos nitrogenados y fosfatados que permiten caracterizar a las aguas en cuanto a su nivel trófico definen al arroyo Quilamula como oligotrófico a hipereutrófico.

9. LITERATURA CITADA

Aguilar, B.S. 1990. *Dimensiones ecológicas del estado de Morelos*. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM. México. 221 p.

Álvarez, A.J.P., Panta, R.E.J., Ayala, C.R. y Acosta, H.E. 2008. Calidad Integral del Agua Superficial en la Cuenca Hidrológica del Río Amajac. *Información Tecnológica*-Vol. 19 N°6. Pág.: 21-32

American PublicHealth Association, APHA. 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater. American Water Works Association and Water Pollution Control Federation*. Washington, D. C. USA. 1134 p.

Aznar, J.A. 2000. Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental*, 2(23):12-19.

Bobadilla, M.J.I. 2015. *Ecología y diversidad de insectos acuáticos de la localidad de Cruz Pintada, Sierra de Huautla, Morelos*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 54 p. + 12 Apéndices.

Blanco J.F. y Scatena, F.N. 2006. Hierarchical contribution of river-ocean connectivity, water chemistry, hydraulics, and substrate to the distribution of diadromous snails in Puerto Rican streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 25: 82-98.

Breton-Deval, L.; Sanchez-Flores, A.; Juarez, K. y Vera-Estrella, R. 2019. Integrative study of microbial community dynamics and water quality along The Apatlaco River. *Environmental Pollution*. 255. 113158

Canadian Council of Ministers of the Environmental, CCME. 1999. *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life*. Winnipeg, Canada.

Canadian Council of Ministers of the Environmental, CCME. 2005. *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Phosphorus*. Winnipeg, Canada.

Dorado, O., Maldonado, B., Arias, D.M., Sorani, V., Ramírez, R., Leyva, E. y Valenzuela, D. 2005. *Plan de manejo y conservación de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de la Semarnat. México.

Environmental Protection Agency, EPA. 1976. *Quality criteria for water*. Washington, D.C., USA. 256 p.

United States Environmental Protection Agency, USEPA. 2006. National Recommended Water Quality Criteria. Columbia, Washington, EEUU.

Fuentes, F. y Massol-Deyá, A. 2002. *Manual de laboratorios. Ecología de microorganismos*. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico. 263 p.

Gama, F.J.I., Pavón, M.E.L., Ramírez, P.T. y Angeles, L.O. 2010. *Análisis de calidad del agua. Relación entre factores bióticos y abióticos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. México 119 p.

Georgia Adopte Un Arroyo. 2004. *Muestreo visual de arroyos. Department of Natural Resources*. Environmental Protection Division. Atlanta, Georgia. 71 p.
www.georgiaadoptastream.com/Manuals_etc/Spanish/visual.pdf

Gómez, C.R. (2003). Modelos conceptuales de funcionamiento de ríos y arroyos. <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/gomez-03.pdf> (30 octubre 2021).

Gómez, F.J. 2017. Aspectos ecológicos de las diatomeas epilíticas y fitoplanctónicas en la microcuenca Coaxitlán (Morelos- Guerrero), México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Morelos, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Tlaquiltenango, Morelos. Clave geoestadística 17025.

Israde-Alcantara, G.V., Abarca, M.N., Ector, L., Cantoral, U.E. y Mendoza, C.M. 2007. *Diatomeas del Río Lerma, estimación de la calidad del agua de un río fuertemente contaminado. Resultados preliminares*. Extenso, En: Congreso Nacional y primera reunión Mesoamericana de Manejo Integrado de Cuencas.

Jiménez-Sánchez, E., Zaragoza-Caballero, S. y Noguera, A.F. 2009. Variación temporal de la diversidad de estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) nocturnos en un bosque tropical caducifolio de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80: 157-168.

Kerven, N.R., Elliot, R.F., Flaherty, M.J., Jennings, H.E. y Zafft, D.J. 1989. *A limnological survey of Paradise lake, Emmett and Cheboygan countries*. Department of Fisheries and Wildlife. Michigan State University. EE UU. 120 p.

Landa, M.M. 2012. *Comunidad epilítica y fisicoquímica del agua en el río Amacuzac, Morelos, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 65 p. + 6 Apéndices.

Marín, G.R. 2003. *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid. 311p.

Miranda, F. y Hernández-X., E. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28:291-279.

Norma Oficial Mexicana, 1996. NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consume humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su Potabilización. Diario Oficial de la Federación. 18 de enero de 1996. 41-46 pp.

Norma Oficial Mexicana, 2000. NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consume humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su Potabilización. Diario Oficial de la Federación. 20 de octubre de 2000. 41-46 pp.

Novelo, E. 1998. *Floras ficológicas del Valle de Tehuacán, Puebla*. Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 599 p.

Oliva-Martínez, M.G., Ramírez-Martínez, J.G., Garduño-Solórzano, G., Cañetas-Ortega, J. y Ortega, M.M. 2005. Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México. *Hidrobiológica*, 15(1):1-26.

Orozco, B.C., Pérez, S.A., González, D.N., Rodríguez, V.F.J. y Alfayate, B.J.M. 2003. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Paraninfo. España.

Pérez, P.J.; Hernández, C.G.; González, R. F. y López, S.T. 2008. Alternativas para conocer el comportamiento de la calidad del agua en un tramo del arroyo Guachinango. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 17, No. 3. 6-9.

Pringle, C.M., Naiman, R.J., Bretschko, G., Karr, J.R., Owwood, M.W., Webster, J.R., Welcomme, R.L. y Winterbourn, M.J. 1988. Patch dynamics in lotic systems: the stream as a mosaic. *Journal of the North American Benthological Society*, 7:503-524.

Ramírez, G.A. 2006. Ecología. Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Colombia. 271 p.

Ramos-Herrera, S., Broca-Martínez, L.F., Laines-Canepa, J.R. y Carrera-Velueta, J.M. 2012. Tendencia de la calidad del agua en ríos de Tabasco, México. Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México. Vol. 16. Núm. 3. pp. 207-217

Reynoso, L. y Andriulo, A. 2010. Estado actual de la calidad del agua en la cuenca del arroyo pergamino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA. Pp 1-23.

Romero, R.J.A. 1999. Calidad del Agua. Alfaomega. México. 273 p.

Roldán, P.G., Posada, J.A. y Gutiérrez, J.C. 2001. *Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales Colección Jorge Alvarez Lleras, Bogotá D.C. 150 p.

Ruiz, G. V. A., Banda, N.R.B., Najle, R., Rodríguez, C.I., Barranquero, R.S., Díaz, A.A., Miguel, R.E., Pereyra, M., Priano, M.E. 2013. Análisis de la calidad del agua del arroyo Langueyú, Tandil, Buenos Aires. *Revista Estudios Ambientales*. <http://revistas.ojs.es/index.php/estudios-ambientales>. Volumen 1. N° 1. 2-28.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, SEDUE. 1990. Criterios ecológicos de calidad el agua. *Gaceta Ecológica*,2(6):26-54.

Seeligmann C., Tracanna C.B., Martínez De Marco S. e Isasmendi, S. 2001. Asociación Española de Limnología. España. *Limnetica*, 20(1):123-133.

Tavira, C.L.A. 2010. *Utilización de las diatomeas fitoplanctónicas y epilíticas como bioindicadoras de la calidad del agua en el río Amacuzac, Morelos, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 98 p. + 7Apéndices.

Townsend, C.R. 1989. The patch dynamic concept of stream community ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 8:36-50.

Torres-Orozco, B.R.E. y García-Calderón, J.L. 1995. Introducción al manejo de los datos limnológicos. UAM Iztapalapa, México. 130 p.

United States Environmental Protection Agency, USEPA. 2006. National Recommended Water Quality Criteria. Columbia, Washington, EEUU.

Cuernavaca, Morelos a 15 de noviembre de 2022

DRA. DULCE MARÍA ARIAS ATAIDE
DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E.

Por este conducto, los catedráticos suscritos comunicamos a Usted, que hemos revisado el documento que presenta la Pasante de Biólogo: **YESSICA SALOMÉ VALDEZ BAHENA**, con el título del trabajo: **CONDICIONES FISICOQUÍMICAS DE TRES ZONAS DEL ARROYO QUILAMULA, CRUZ PINTADA, MORELOS.**

En calidad de miembros de la comisión revisora, consideramos que el trabajo reúne los requisitos para optar por la Modalidad de Titulación por Tesis Profesional por Etapas como lo marca el artículo 26° del Reglamento de Titulación Profesional vigente de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta

JURADO REVISOR

FIRMA

PRESIDENTE: M. EN C. MIGDALIA DÍAZ VARGAS

SECRETARIO: DRA. ELSAH ARCE URIBE

VOCAL: M. EN C. JUDITH GARCÍA RODRÍGUEZ

SUPLENTE: DR. HUGO FERNANDO OLIVARES RUBIO

SUPLENTE: M. EN M.R.N. MARCO POLO FRANCO ARCHUNDIA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

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

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

Sello electrónico

HUGO FERNANDO OLIVARES RUBIO | Fecha:2022-11-15 13:58:05 | Firmante

kDA+BowuUpkLFFZVWwSiRRbJnV3s8mCLYru9ugV1y+7l6nfRJvZCEkh7uUrqxlyCpFXxTbiHvPXXERacvluolpefDK0vyqbfXGoPHEpV1HWmV3XBKxi5z90nLu6Gpf+1tGUqfkgMbvmhxl7jkqoi9cw4N4BPuXkoXwMN17odbw5F3Bd9O9e72c70Z1qgm47IAYEoXku/K3K/VptU0v/sJ9FJfOftgaXNT12aJanFWHYhqKDVfBEM/gZkoE+I3aTF3vD1Gi9RtkVrl98k2imEATDI77pH8gGliClazFwUyB2U3VJDKIH+I/AlMVS+JaxNjdb5Dy2t3sfRONhFmjQ==

MIGDALIA DIAZ VARGAS | Fecha:2022-11-15 16:47:21 | Firmante

QoZ3cmA2kQhjEhW011XUTzAANvUbyb7DBBWB4GFJVTVM2jMrvPGA4eZHpMsddu6i58Ub2WJf9+MkAwOkP8ICA+oMoyQO6GlcNYQpN0RxpKpC505df1Jkg/4WExb+781Uc0mi4x+OPTR37zT5d/tawpXezNcYqCp3mu8bdHxwGwyt0Q4EH/ewLaPTRDWZ9EJh2INz6h/WTDcwjCXWNHDxo0bjCzEUr6/9lqxPHYC6tS1J8UrDuXWUNKDKrY5OfwapDqX8bS u3gd4uhglxksLgyFWmBWgKJgRRbGN3R0kdZIMOXTr23vsQ5/9zg4wUHjW660s88DEf2Af0CY7CuW7A==

MARCO POLO FRANCO ARCHUNDIA | Fecha:2022-11-16 09:38:36 | Firmante

PCYw4SD6ar133i96q3kg6Fgx4cUbmjpt0E21Olwt5ppgpWxFRic5rtnsi/v3tibZvoVWNZ4cOU70etEDbd0rixZtGEAeFJg2tNJ2sMKQgvgvQ3PugzS5QaWAHe9qzrqDm+1PxQXfrQc7BFFbaRJ06+V4n/qrkHxSI4tXvK4DJOISz9YGF2dOxrcyJ9rN/MBzGKFE/ONRsv1qFbuAA3hFO2OtiaOtyTgsTFS332Eq1Sd4N9dKArJppZQWrpJSPKq9S8urkbQj1KCZgoZRwp8BdRMDyNIULnmZpBabKXNU91ffZQwGihGe9sOacXP/sQww/lXblu+vGFoJHfuXilJA==

ELSAH ARCE URIBE | Fecha:2022-11-16 17:33:26 | Firmante

SDNz6fAP7B1PjOa60WL3xSiWILmZLYbYaLXIDykjDjWHgu+Uwu8FkDpXK1DazvzIoBcjoM46yCGTti9nq+5e5n52xXmp6J/rrr4WXiZMRdauKMayXWvDQWuPB4GvmWBpoCiRKeMQDCsb2RMnpOqndU5/XSu/LZ3z8YGDhZk0ZUpWa7oLsOJ7V4UgiQPtw7E5bB+DJLaWVEUy4HxyJZHGe9XuzOJrInSkC5YggHrHoS+dMeeX8RzbOd+e8G8MDZcM+VGuzdk0bQHjr29ie3c7qVt6/DYpwrhGS/nrDwf6KqOb8k4O7C07kCCI3kNXLOopkSKzBEZLdbMhxfymqoqVRA==

JUDITH GARCIA RODRIGUEZ | Fecha:2022-11-17 10:33:39 | Firmante

kNrAKwY2WvcVgJg6wHkLlJAhscLTIn4oeyozGdFu+LNLi0ipHEA4DOalRs2n/iBUJlontj1pBzI4S3kwDiurAsGssBRELuWBKpxlpoqzCpXhhdHBF1x3moLxswAodovT5lwzIBFOicOASw7ZQ/WvXv1glfcgBnR.JhmnJMtO8eefk6Mnzq52XrSN00rWNuRfOHTCXAXM4+qVnp+0Z9JOF5abNOyQc0IRu1nzecaDE986nB17igA1g4JgwPN7Vxp1zBa/pBP22ijUYkx3MLBYllGRNvWFTubmOiquWAYj/oet3iClI1+2fKP6B2e8cQd+m7AidID+CIn+/y1SQiA==

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



xDuBv7fd6

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/2x6NPKtm1hb1hN4UeINyJMnkKaXbBdN>

