

Condiciones físicas y químicas del arroyo Quilamula, Morelos, México

Physical and chemical conditions of Quilamula stream, Morelos, Mexico

Judith García-Rodríguez

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

garciarj@uaem.mx

 <http://orcid.org/0000-0003-3789-1938>

Hugo F. Olivares-Rubio*

Universidad Nacional Autónoma de México, México

hugolivares@cmarl.unam.mx

 <http://orcid.org/0000-110002-7082-4588>

Migdalia Díaz-Vargas

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

mgdalia@uaem.mx

 <http://orcid.org/0000-0002-0510-8358>

Elsah Arce

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

elsah.arce@uaem.mx

 <http://orcid.org/0000-0002-9815-2525>

Marco Franco

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

marco.franco@uaem.edu.mx

 <http://orcid.org/0000-0003-4954-5100>

Recepción: 10 de agosto de 2023

Aprobación: 9 de enero de 2024



RESUMEN

Se analizaron las características físicas y químicas del agua en el arroyo Quilamula, localidad Cruz Pintada, municipio de Tlaquiltenango (Morelos, México) a partir de un estudio en tres estaciones de muestreo en el arroyo Quilamula mediante técnicas colorimétricas y de espectrofotometría. De acuerdo con los resultados, el arroyo posee aguas de templadas a cálidas, con pH medianamente básicos, con baja concentración de oxígeno disuelto y de sólidos disueltos totales, baja conductividad, de moderadamente duras a duras, con niveles bajos de cloruros y de condición hipertrofica debido a elevadas concentraciones de nitratos y fósforo total. Entre las conclusiones se encuentra que el arroyo Quilamula posee características propias de sistemas tropicales con niveles altos de nutrientes dadas las actividades agrícolas y pecuarias de la zona.

PALABRAS CLAVE: arroyo efimero, caracterización física y química, centro de México, recursos hídricos.

ABSTRACT

The physical and chemical characteristics of the water in Quilamula Stream, located in Cruz Pintada, Tlaquiltenango municipality (Morelos, Mexico), were analyzed. The study was conducted at three sampling stations in Quilamula Stream using colorimetric and spectrophotometric techniques. The stream has water with temperate to warm temperatures, optimal pH moderately basic, low concentration of dissolved oxygen and total dissolved solids, low conductivity, moderately hard to hard water, low levels of chlorides, and a hypertrophic condition due to high concentrations of nitrates and total phosphorus. Quilamula Stream exhibits typical of tropical systems with high levels of nutrients due to agricultural and livestock activities in the area.

KEYWORDS: ephemeral stream, physical and chemical characterization, central Mexico, water resources.

*AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

hugolivares@cmarl.unam.mx

INTRODUCCIÓN

Las aguas con flujo continuo como los ríos y los arroyos albergan una porción pequeña del agua almacenada en la biósfera. Desempeñan un papel crítico en el ciclo del agua y en la transferencia de minerales y nutrientes que contribuye al equilibrio ecológico (Allan y Flecker, 1993). En los ríos y arroyos habita una amplia variedad de especies de valor para las sociedades humanas que pueden estar amenazada (Allan y Flecker, 1993). Los ríos y arroyos efímeros se definen como “cursos de agua que dejan de fluir en algún punto del espacio y del tiempo a lo largo de su curso” (Acuña *et al.*, 2014). En este tipo de sistemas el agua superficial es intermitente, lo que significa que el agua está presente o ausente y que en ocasiones se formen charcos; estos hábitats varían en extensión espacial y duración (Stubbington *et al.*, 2017; Datry *et al.*, 2017). Durante las fases de flujo, los ríos y arroyos efímeros proveen de beneficios a las poblaciones humanas (Koundouri *et al.*, 2017). Los asentamientos humanos se encuentran en crecimiento y generan una alta demanda de agua para diferentes fines como la producción de alimentos y la energética. Esta demanda aunada a la deficiente gestión del agua y el cambio climático, entre varias otras amenazas, ponen en riesgo a la conservación de estos ambientes (Thornton y Herrero, 2010; Hanjra y Qureshi, 2010; Cosgrove y Loucks, 2015). El estudio de las características físicas y químicas del agua de los ríos y arroyos efímeros es esencial para la comprensión de estos ambientes y para contribuir con su conservación (Gómez *et al.*, 2017).

Dentro de los parámetros de la ecología de arroyos, la temperatura y el pH del agua son determinantes del estado general de la salud ecológica. Estos parámetros determinan la diversidad, así como la tasa de crecimiento poblacional de los organismos acuáticos que ahí habitan y su distribución (Wetzel y Likens, 2000; Caissie, 2006). El oxígeno disuelto es de gran relevancia dado que la presencia de este elemento químico es esencial para los organismos acuáticos aerobios (Davis, 1975). La conductividad es la resistencia de una solución al flujo eléctrico (Wetzel, 2001); las aguas duras contienen una gran concentración de sales disueltas, que suelen derivar de los arrastres de los depósitos calcáreos (Wetzel, 2001). El contenido de los sólidos totales disueltos son una medida de la fracción sólida de una muestra que pasan a través de un filtro, y es una medida de la viabilidad del agua para su uso como agua potable y para usos agrícolas (Ghavidel y Montaseri, 2014). La concentración de cloruro influye en el equilibrio de la salinidad y en el intercambio de iones. La contaminación es una fuente de iones cloruro y en los cuerpos de agua dulce ubicados en las cercanías de las regiones marinas se detectan las mayores concentraciones por transporte atmosférico (Wetzel, 2001). La concentración de silicio en una muestra de agua de agua es una medida indirecta de la presencia de diatomeas, las cuales están encapsuladas en paredes de ácido silícico y contribuyen a la productividad primaria (Wetzel, 2001). El nitrógeno está presente en los cuerpos de aguas en diversas formas que incluyen al amonio, nitrito y nitrato; el amonio es generado por bacterias heterotróficas como el producto terminal de la descomposición de proteínas, adicionalmente este compuesto es oxidado nitrito y nitrato, que es asimilado a compuestos nitrogenados en los organismos (Wetzel, 2001). El fósforo tiene un rol vital en el metabolismo biológico y el ortofosfato es la única forma utilizable de fósforo inorgánico. Las concentraciones de fósforo y nitrógeno en sus diferentes compuestos pueden describir el estado de los ciclos biogeoquímicos en los cuerpos de agua y su estado trófico (Wetzel, 2001).

Resulta prioritario conocer las condiciones físicas y químicas de los arroyos para contribuir a la identificación de su estado y para la formación de propuestas encaminadas a la conservación de la biota de estos ecosistemas acuáticos. El deterioro de los ecosistemas continentales es un fenómeno constante que tiene como consecuencias la reducción y pérdida de recursos hídricos, además de una amenaza para la biodiversidad. Los recursos hidrológicos del centro de México son particularmente sensibles e importantes (Herrera-Pantoja y Hiscock, 2015; Castellazzi *et al.*, 2016; Caro-Borrero *et al.*, 2020) y su degradación compromete la biodiversidad que habita en estos ambientes (Lyons *et al.*, 1995; Domínguez-Domínguez *et al.*, 2006; Kiser *et al.*, 2022). En el sureste del estado de Morelos, México en la sierra de Huautla, en los alrededores del río Cuautla-Nexpa, se determinó que las aguas son ligeramente básicas, oxigenadas y oxidativas, con altos valores de turbidez y de material

particulado en suspensión por encima de límites regulatorios (Barats *et al.*, 2020). El arroyo Quilamula es un cuerpo de agua importante en esta zona, pues abastece de agua a las poblaciones aledañas para el desarrollo de sus actividades agrícolas, pecuarias y domésticas. Quilamula se encuentra en las inmediaciones de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla y alberga una biota característica y con alto potencial de investigación para la conservación.

De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este artículo es determinar el estado del arroyo Quilamula en el estado de Morelos mediante un registro periódico de diversos parámetros físicos y químicos de sus aguas y determinar posibles diferencias entre las estaciones de muestreo.

1. METODOLOGÍA

1. 1. Área de muestreo

El arroyo Quilamula está ubicado en el municipio de Tlaquiltenango y es el principal aporte de agua a la Presa Lorenzo Vázquez, que se utiliza para fines agrícolas y ganaderos (CONANP, 2005). El municipio de Tlaquiltenango se localiza en las provincias fisiográficas del Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur a una altitud de 700 a 1 900 msnm (INEGI, 2009). Este municipio se encuentra en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH) que cubre una superficie de 590 km² a una altitud que va de los 700 a los 2 200 msnm (CONANP, 2005). En la REBIOSH el principal tipo de ecosistema terrestres en la selva baja caducifolia caracterizada por su estacionalidad climática con temperatura media anual entre los 20 y 29 °C (CONANP, 2005). El río Amacuzac es el único río permanente en la REBIOSH y es el aporte hídrico más importante del estado de Morelos (CONANP, 2005). La REBIOSH está situada en la región hidrológica 18 en la cuenca del río Balsas, que está conformada por tres subcuencas: la subcuenca del río Cuautla al norte, la subcuenca del río Salado en la región de Cerro Frío y la subcuenca del arroyo de Quilamula en la subregión de Huautla que drenan hacia el río Amacuzac (CONANP, 2005).

1. 2. Ubicación y temporalidad de los muestreos

Para este trabajo se consideraron tres estaciones: *a*) Estación 1 (E1). Se ubica entre las coordenadas 18° 29' 07" N (18.4852778 N) y -99° 02' 39" O (-99.04416667 O) a una altitud de 996 msnm. Presenta una vegetación terrestre baja de árboles, pasto y nopalera. El agua es turbia, con mal olor, con presencia de vegetación acuática en las márgenes y el sustrato es lodoso. *b*) Estación 2 (E2). Se ubica entre las coordenadas 18° 28' 14" N (18.47055556 N) y -99° 02' 22" O (-99.03944444 O) a una altitud de 984 msnm. La vegetación terrestre es baja con presencia de árboles y arbustos. El agua es clara con una velocidad de corriente lenta y sustrato rocoso. *c*) Estación 3 (E3). Se ubica entre las coordenadas 18° 27' 41" N (18.4613889 N) y -99° 02' 04" O (-99.034444 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. La figura 1 muestra la ubicación geográfica del arroyo Quilamula en el estado de Morelos, además de tres fotografías representativas del paisaje de cada estación de trabajo. Las localidades de muestreo se establecieron con el objetivo de abarcar la parte inicial, media y final de la represa presente en el cause del arroyo.

Este estudio se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre junio del 2013 y febrero del 2014, y se cubrieron dos estaciones climáticas: lluvias y principio de secas. Para la de lluvias, los muestreos fueron en junio, julio, agosto y octubre del 2013, mientras que para el principio de secas en diciembre de 2013 y febrero de 2014. Se recolectaron tres muestras de agua superficial en cada una de las estaciones con un recipiente de plástico con capacidad de un litro previamente etiquetado y se transportaron en frío (4° C) hasta su determinación en el laboratorio.

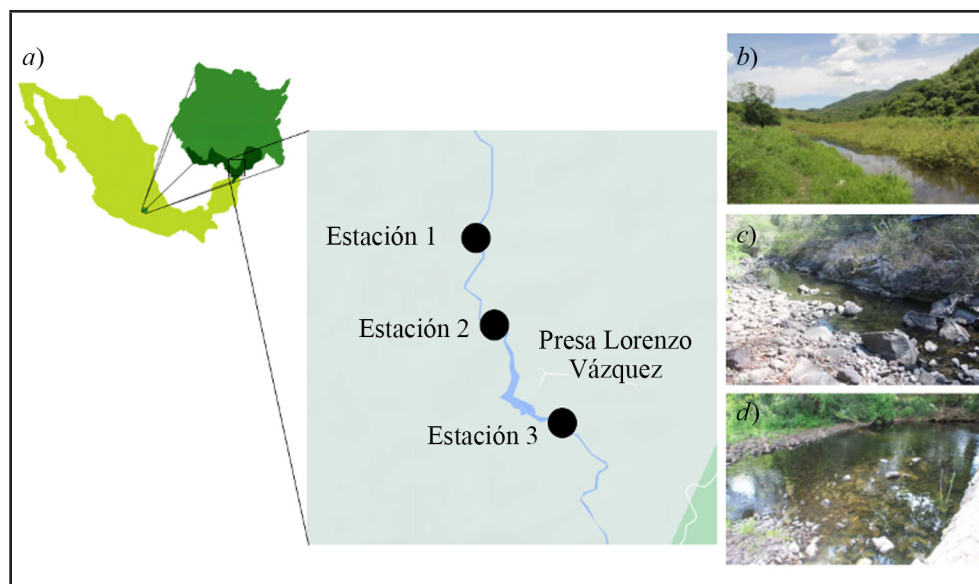


FIGURA 1

Ubicación geográfica y paisaje de las estaciones de muestreo.

Fuente: fotografías propias tomadas por Yessica Salóme Valdez Bahena.

Nota: a) ubicación de las estaciones de muestreo, b) Estación 1, c) Estación 2 y d) Estación 3.

1. 3. Determinación de los parámetros físicos y químicos e interpretación ambiental

Los parámetros físicos y químicos del agua del arroyo Quilamula se determinaron por duplicado, por cada sitio de muestreo y por cada muestreo temporal a partir de técnicas colorimétricas descritas por la Asociación Americana para la Salud Pública de los Estados Unidos de América (APHA, 1992) y con equipos multiparamétricos ya calibrados. La temperatura del agua, pH, conductividad y total de sólidos disueltos se tomaron *in situ* con un determinador HANNA HI 99300. El oxígeno disuelto con un oxímetro YSI Model 58 y la profundidad del arroyo con una varilla de acero graduada. En laboratorio se midió la dureza total mediante titulación con EDTA y cloruros mediante titulación con AgNO_3 . El nitrato, amoníaco, amonio y fósforo total se cuantificó con un espectrofotómetro HACH DR 2010.

La interpretación de las variables físicas y químicas evaluadas en el arroyo Quilamula se realizó con base en reportes previos. La temperatura del agua se clasificó de acuerdo con Oliva-Martínez *et al.* (2005); el pH, con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, 2023); la concentración de oxígeno disuelto, con Ice y Sugden (2003); los sólidos disueltos totales, con Van der Aa (2003) y Merriam *et al.* (2022); la conductividad, con Van der Aa (2003); la dureza total, con Gholami y Srikantaswamy (2009); la concentración de cloruros, con Hong *et al.* (2023) y Arle y Wagner (2013). Para el amoníaco se tomó en cuenta el estudio de Randall y Tsui (2002); para el amonio, el de Vagheei *et al.* (2022); para el nitrato, el de Kumar *et al.* (2020); para el fósforo total, el Daniel *et al.* (1998).

1. 4. Análisis estadísticos

Se consideró el promedio y la desviación estándar de cada parámetro físico y químico del agua por estación de muestreo, además de todas las temporalidades. Posteriormente, se calcularon en el programa estadístico GraphPad Prism version 8.0.1^[1] para Windows. La normalidad de los datos se comprobó con una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para comparar las mediciones de los parámetros físicos y químicos entre las estaciones de muestreo y también una comparación

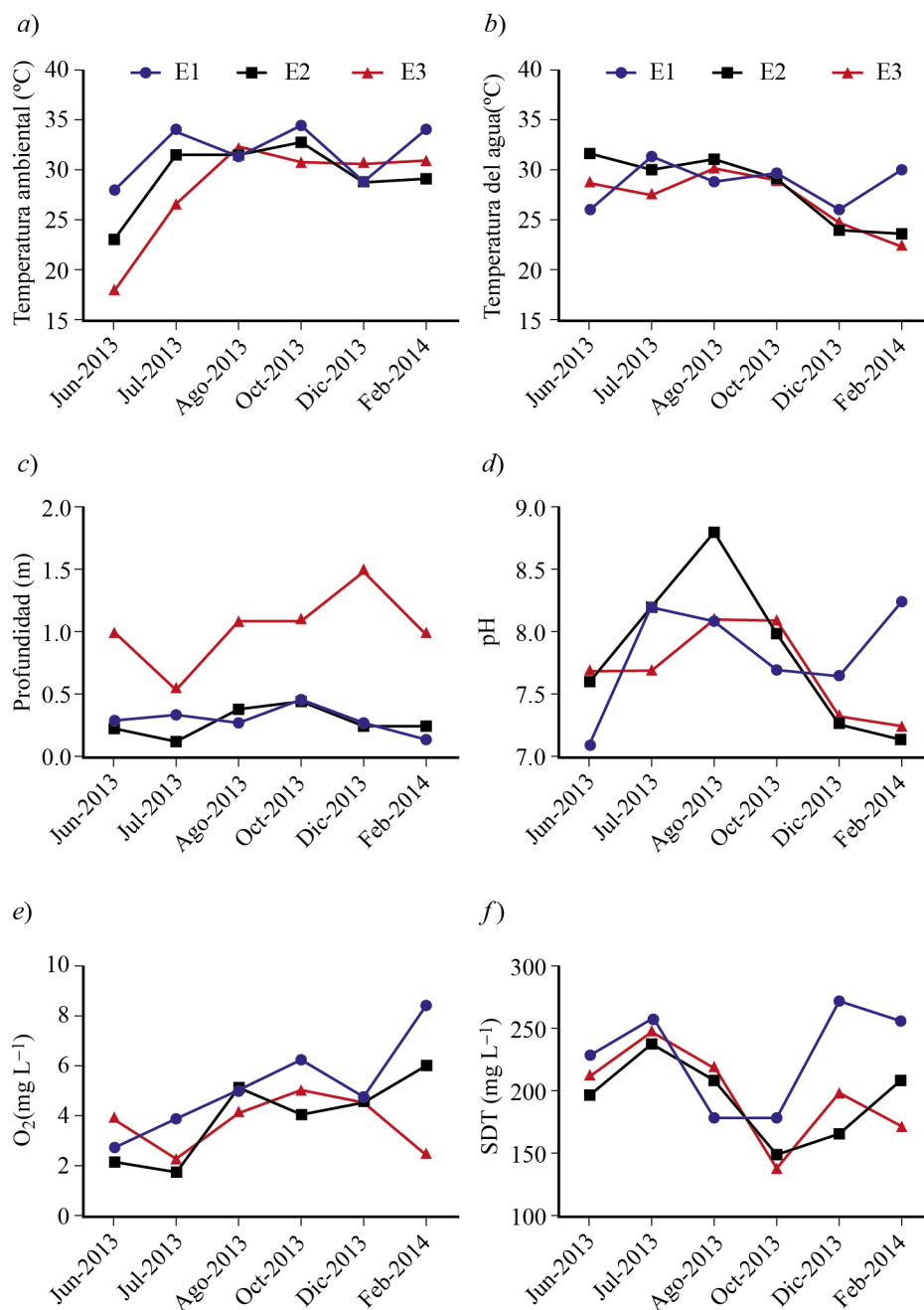
múltiple de Tukey cuando el resultado de ANOVA fue estadísticamente significativo. En ambos casos un valor de $P \leq 0.05$ se consideró como significativo. Para reducir la dimensionalidad de los datos y mantener la mayoría de su variación (Ringnér, 2008), se hizo un análisis de componentes principales. Los análisis de componentes principales favorece la determinación de las variables que pueden ser descritas a través de otras, además identificar las variables que contribuyen a la variación observada de acuerdo con las estaciones y las temporalidades (Ringnér, 2008). Se usó el programa PAST en su versión 4.13 (Hammer *et al.*, 2001). Todos los datos fueron normalizados: 0 el valor mínimo y 100 el valor máximo de cada variable mediante el uso de GraphPad Prism version 8.0.1. Asimismo, se realizó un análisis de correlación lineal múltiple de Pearson que contempló las 17 variables físicas y químicas estudiadas mediante el uso de GraphPad Prism version 8.0.1. Las correlaciones se consideraron significativas a un valor de $P \leq 0.05$.

2. RESULTADOS

La altitud de la estación 1 fue de 996 msnm, para la estación 2 fue de 984 msnm y para la estación 3 fue de 982 msnm. La temperatura ambiental fue similar entre las estaciones de muestreo ($F_{(3,6)} = 1.163, P = 0.34$) (gráfica 1a), y presentó los siguientes promedios y desviaciones estándar: E1: 28.23 ± 5.18 , E2: 29.45 ± 3.5 y E3: 31.75 ± 2.85 °C. La temperatura del agua fue similar entre estaciones ($F_{(3,6)} = 0.356, P = 0.706$) (gráfica 1b), y presentó los siguientes promedios y desviaciones estándar: E1: 28.72 ± 2.18 , E2: 28.3 ± 3.56 y E3: 27.17 ± 2.93 °C. La temperatura del agua y la temperatura ambiental no se relacionan ($P = 0.099$). La profundidad del arroyo Quilamula mostró variación entre los sitios de muestreo ($F_{(3,6)} = 29.26, P < 0.0001$) (gráfica 1c). La mayor profundidad se observó en la estación de muestreo 3 respecto a las estaciones 1 y 2 ($P < 0.0001$). La profundidad fue en promedio \pm desviación estándar: E1: 0.3 ± 0.1 , E2: 0.28 ± 0.11 y E3: 1.04 ± 0.12 m. El pH fue similar entre las estaciones ($F_{(3,6)} = 0.155, P = 0.858$) (gráfica 1d), y presentó los siguientes promedios y desviaciones estándar: E1: 7.83 ± 0.44 , E2: 7.84 ± 0.62 y E3: 7.7 ± 0.36 . Con excepción del muestreo de agosto del 2013 en la estación 2, los valores de pH se encontraron entre 7 y 8.5. Las concentraciones de oxígeno disuelto fueron similares entre las estaciones ($F_{(3,6)} = 1.331, P = 0.294$) (gráfica 1e), y presentaron los siguientes promedios y desviaciones estándar: E1: 5.21 ± 1.99 , E2: 3.99 ± 1.68 y E3: 3.92 ± 1.13 mg O₂ L⁻¹. Las concentraciones de sólidos disueltos fueron similares entre las estaciones ($F_{(3,6)} = 1.517, P = 0.251$) (gráfica 1f) y presentaron los siguientes promedios y desviaciones estándar: E1: 230.5 ± 41.28 , E2: 196 ± 32.28 y E3: 200 ± 38.48 mg L⁻¹.

La conductividad fue similar entre las estaciones ($F_{(3,6)} = 1.422, P = 0.272$) (gráfica 2a), y presentó los siguientes promedios y desviaciones estándar: E1: 473.7 ± 94 , E2: 395.7 ± 73.73 y E3: 420.8 ± 76.07 μ S cm⁻¹. La dureza total fue similar entre las estaciones ($F_{(3,6)} = 0.508, P = 0.612$) (gráfica 2b), y presentó los siguientes promedios y desviaciones estándar: E1: 102.7 ± 25.35 , E2: 86 ± 34.39 y E3: 99.33 ± 25.25 mg CaCO₃ L⁻¹. La concentración de cloruros fue similar entre las estaciones ($F_{(3,6)} = 0.4, P = 0.677$) (gráfica 2c), y presentó los siguientes promedios y desviaciones estándar: E1: 5.19 ± 2.13 , E2: 4.26 ± 1.49 y E3: 4.89 ± 1.84 mg Cl L⁻¹. La concentración de sílice fue similar entre las estaciones ($F_{(3,6)} = 0.693, P = 0.515$) (gráfica 2d), y presentó los siguientes promedios y desviaciones estándar: E1: 2.13 ± 1.84 , E2: 4.34 ± 4.97 y E3: 5.13 ± 5.9 mg SiO₂ L⁻¹.

La concentración de amoníaco fue similar entre las estaciones ($F_{(3,6)} = 0.51, P = 0.612$) (gráfica 3a), y presentó los siguientes promedios y desviaciones estándar: E1: 0.33 ± 0.12 , E2: 0.38 ± 0.1 y E3: 0.5 ± 0.47 mg NH₃⁻¹ L⁻¹. La concentración de amonio fue similar entre las estaciones ($F_{(3,6)} = 1.395, P = 0.278$) (gráfica 3b), y presentó los siguientes promedios y desviaciones estándar: E1: 0.35 ± 0.13 , E2: 0.41 ± 0.11 y E3: 0.28 ± 0.17 mg NH₄⁺⁴ L⁻¹. La concentración de nitratos fue similar entre las estaciones ($F_{(3,6)} = 0.409, P = 0.671$) (gráfica 3c), y los siguientes promedios y desviaciones estándar: E1: 19.13 ± 20.63 , E2: 12.92 ± 13.71 y E3: 11.55 ± 20.26 mg NO₃⁻¹ L⁻¹.



GRÁFICA 1

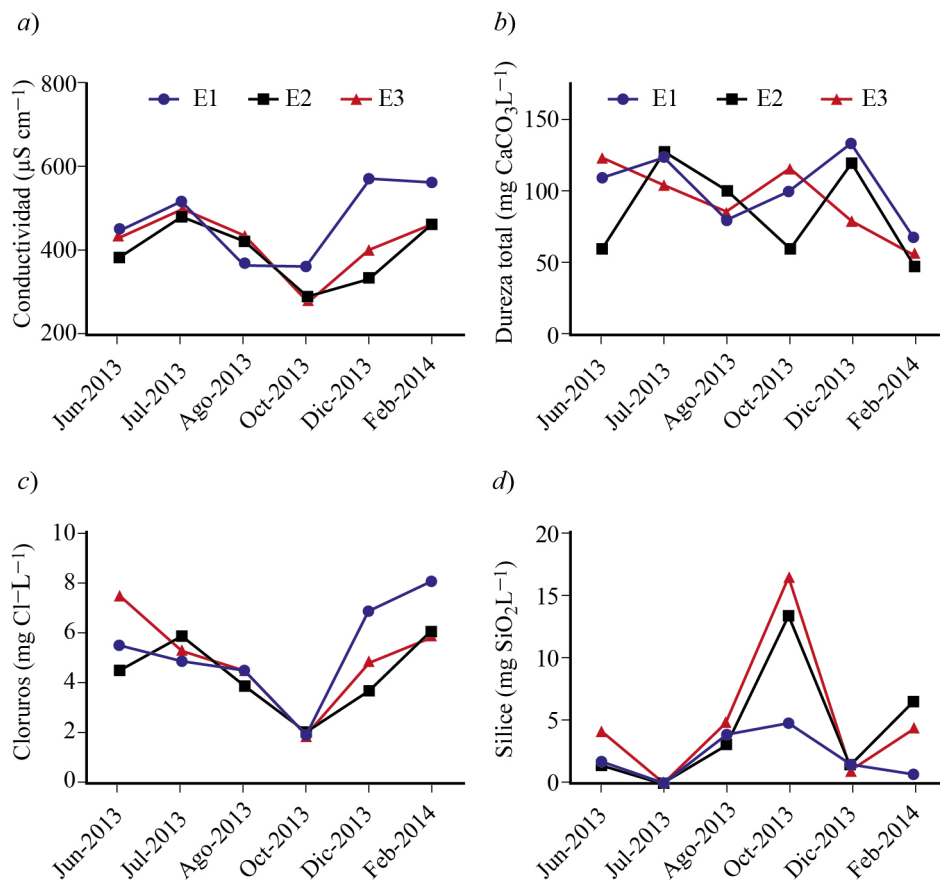
Temperatura ambiental, temperatura del agua, profundidad, pH, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales del arroyo Quilamula

Fuente: elaboración propia con el software GraphPad Prism version 8.0.1

Nota: E1 = estación 1, E2 = estación 2, E3 = estación 3.

La concentración de ortofosfato ($F_{(3, 6)} = 2.614, P = 0.106$), la concentración de óxido de fósforo ($F_{(3, 6)} = 2.621, P = 0.106$) y la concentración de fósforo total ($F_{(3, 6)} = 2.593, P = 0.108$) fueron similares entre las estaciones de muestreo. Los resultados del análisis de componentes principales mostraron que el primer

componente explicó el 33.62% de la variación de los datos, mientras que el segundo componente mostró el 16.96%. Ambos componentes sumaron un total de 50.58% (gráfica 4). El primer componente permitió observar dos agrupaciones, la estación 1 y la estación 3; a su vez, en este mismo componente se constató que la conductividad, los sólidos disueltos totales, las concentraciones de ortofosfatos, de óxido de fósforo, del fósforo total y la altitud fueron las variables que impactaron a la estación 1. Por otro lado, la concentración de sílice y la profundidad impactaron a la estación 3. La variación observada de la estación 2 permitió sugerir que compartió características con la estación 1 y 3. Respecto a las temporalidades, en octubre, diciembre y febrero estuvieron agrupadas para las estaciones 1 y 3, mientras que en junio, julio y agosto para la estación 3. En relación con los parámetros físicos y químicos, los compuestos del fósforo (ortofosfatos, óxido de fósforo y fósforo total) se encontraron solapados. Solo la presentación del fósforo total es capaz de mostrar la variabilidad de todos los compuestos de este elemento considerado en este estudio. El análisis de correlación lineal múltiple de Pearson fue significativo entre estas variables del fósforo ($P = 0$; $r^2 = 1$) porque las determinaciones de estos parámetros son dependientes entre sí. La dureza, la concentración de nitratos, cloruros, de sólidos disueltos totales y la conductividad se encontraron asociadas como producto del análisis de componentes principales. Estas observaciones fueron confirmadas por el análisis de correlación lineal múltiple de Pearson que fue significativo entre los sólidos disueltos totales y la conductividad ($P < 0.0001$; $r^2 = 0.928$). Se encontró correlación positiva entre la conductividad y la concentración de cloruros ($P < 0.0001$; $r^2 = 0.833$).

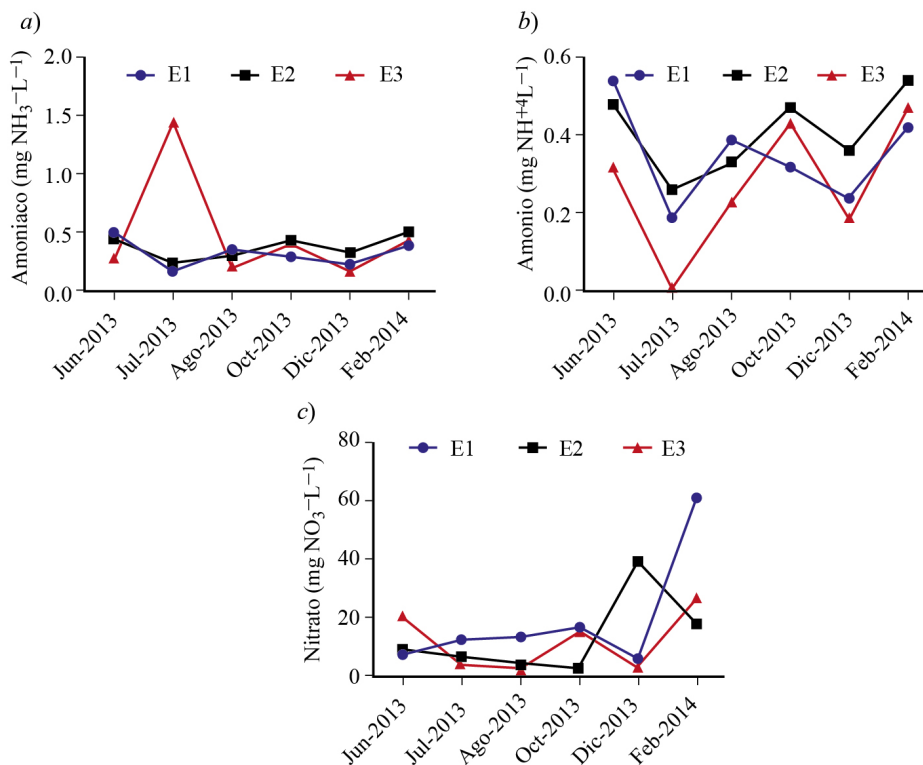


GRÁFICA 2

Conductividad, dureza total, concentraciones de cloruros y sílice del arroyo Quilamula

Fuente: elaboración propia con el *software* GraphPad Prism version 8.0.1.

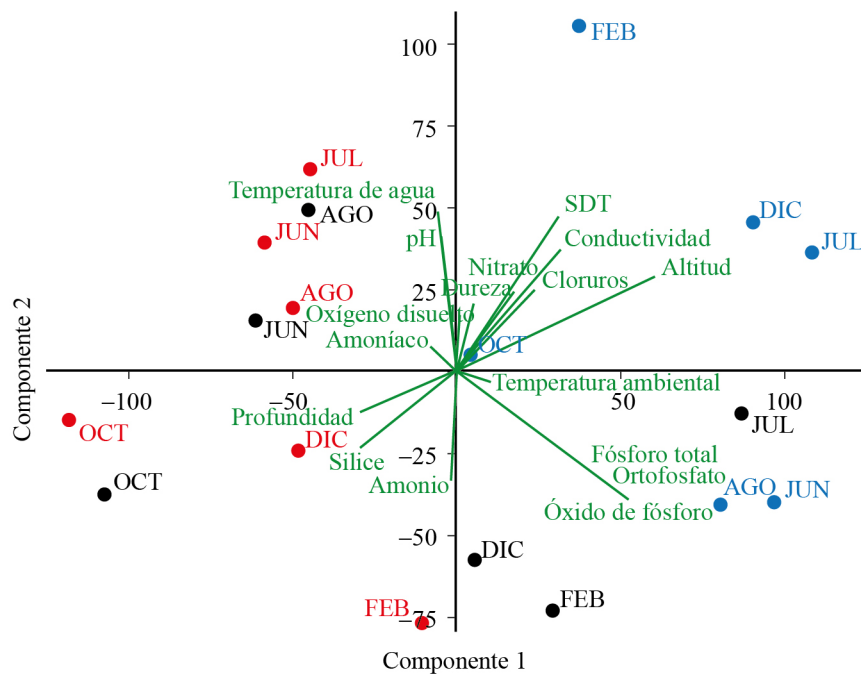
Nota: E1 = estación 1, E2 = estación 2 y E3 = estación 3.



GRÁFICA 3

Concentración compuestos del nitrógeno del arroyo Quilamula

Fuente: elaboración propia con el *software* GraphPad Prism version 8.0.1. Nota: E1 = estación 1, E2 = estación, E3 = estación 3.



GRÁFICA 4

Análisis de componentes principales de las variables físicas y químicas evaluadas en las tres estaciones del arroyo Quilamula

Fuente: elaboración propia con el *software* PAST en su versión 4.13 y posterior edición en Inkscape versión 1.2.2. Nota: SDT = sólidos disueltos totales, JUN = junio, JUL = julio, AGO = agosto, OCT = octubre, DIC = diciembre, FEB = febrero. Puntos azules, estación 1; puntos negros, estación 2; puntos en rojo, estación 3.

3. DISCUSIÓN

La temperatura del agua del arroyo Quilamula fue similar a la del río Amacuzac (Nandini *et al.*, 2019). Este resultado se explicaría debido a que la temperatura ambiental y del agua dependen de las condiciones climáticas (López-López *et al.*, 2019) que se comparten en el sureste del estado de Morelos. Las temperaturas del arroyo Quilamula fueron de templadas a cálidas. Estos resultados coinciden con diversos ríos y arroyos de la región de América del norte y México (Pringle *et al.*, 2000; Bojorge-García *et al.*, 2010). En relación con el pH, resultados similares han sido reportados en el río Yautepec (Vargas-Solano *et al.*, 2019, 2022) y en el río Amacuzac (Nandini *et al.*, 2019). Según la EPA, los valores óptimos de pH de 6.5 a 8 son óptimos para la mayoría de organismos acuáticos (EPA, 2023).

Las concentraciones de oxígeno disuelto identificadas en el arroyo Quilamula fueron menores que las observadas en el río Amacuzac (8-12 mg L⁻¹) durante la mayor parte del año (Nandini *et al.*, 2019) y a las de dos arroyos en la reserva de la biósfera Tehuacán-Cuicatlán (López-López *et al.*, 2019). Es probable que las bajas concentraciones de oxígeno disuelto detectadas en el arroyo Quilamula se deban a las altas temperaturas del agua observadas en este mismo cuerpo de agua y a las elevadas concentraciones de nutrientes como las de nitratos y fósforo total que demandan consumo de oxígeno para su oxidación (Wetzel, 2001). La concentración de oxígeno indicó bajos niveles, resultados que representan riesgos para la conservación de la biota aerobia (Long *et al.*, 2008; Mattson *et al.*, 2008; Sun *et al.*, 2012).

En el arroyo Quilamula se registró que las concentraciones de sólidos disueltos totales fueron mayores que en arroyos de la montaña en el cinturón volcánico mexicano cerca de Valle de Bravo (Bojorge-García *et al.*, 2010) y en el río Amanalco (Carmona *et al.*, 2009), ambos sitios en el centro de México. Estas diferencias se deben a que las concentraciones de iones típicos como los de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro, sulfato y bicarbonato fueron mayores (Chapman *et al.*, 2000) en el arroyo Quilamula que en los arroyos cercanos de Valle de Bravo y al río Amanalco probablemente debido a las diferencias geológicas y edafológicas de las regiones y a las aportaciones antropológicas (López-López *et al.*, 2019).

El arrastre en el arroyo Quilamula es menor que en los 95 km de longitud total del río Yautepec (Vargas-Solano *et al.*, 2019). El arroyo Quilamula presenta arrastre efímero y baja profundidad que podría explicar los valores menores de conductividad que en el río Yautepec. La dureza total en el arroyo Quilamula fue menor que en dos arroyos de la reserva de la biósfera Tehuacán-Cuicatlán (López-López *et al.*, 2019) y que en diversos arroyos de la reserva de la biósfera en Sierra Gorda (Rico-Sánchez *et al.*, 2022), ambas reservas de la biósfera ubicadas en el centro de México. La dureza depende de geología de cuencas hidrográficas, del clima y del tiempo (Boyd *et al.*, 2016) y representa a las concentraciones de sales de calcio y magnesio con carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros (Wetzel, 2001).

Las bajas concentraciones de sílice detectadas en el arroyo Quilamula podrán explicar las reducidas concentraciones de oxígeno registradas, las elevadas temperaturas y excesiva concentración de fósforo total y nitratos. En cuanto a los sólidos disueltos totales y a la conductividad, el arroyo Quilamula se clasificó como de baja concentración de minerales. Las aguas superficiales del arroyo Quilamula fueron de moderadamente duras a duras y respecto a la concentración de cloruros, como oligohalino y de buenas condiciones ecológicas. La excesiva concentración de fósforo es la causa más común de la eutroficación en arroyos, lagos, embalses y en las cabeceras de los sistemas estuarinos (Correll, 1998). Los arroyos alrededor del mundo han duplicado sus concentraciones de nitrógeno y fósforo (Meybeck, 1982; 2003).

El cambio climático está causando incrementos en la temperatura, por lo que se ve afectada la calidad de las aguas superficiales en fenómenos que ocurren en cascada, evidentes a través de diversos parámetros físicos y químicos, por ejemplo en la disminución en la concentración de oxígeno disuelto que afecta la calidad de vida de la biota aerobia (Dokulil y Teubner, 2011). Los cuerpos de agua de menor tamaño como los arroyos tienen un riesgo mayor de ser impactados por la eutroficación; por ejemplo, son más vulnerables a secarse dado

que sus concentraciones de nutrientes pueden aumentar y también porque reciben menos atención por parte del público en general y de las autoridades (Dokulil y Teubner, 2011). Esta situación denota la necesidad de monitorear parámetros físicos y químicos de la calidad del agua como temperatura, concentración de oxígeno disuelto y concentración de nutrientes con la finalidad de evaluar el riesgo de la pérdida de biodiversidad de la región.

CONCLUSIÓN

Las características físicas y químicas del arroyo Quilamula mostraron variaciones dependientes de las estaciones de muestreo, en específico fueron diferentes entre la estación 1 y 3. El estado trófico del arroyo Quilamula es hipertrófico debido a las elevadas concentraciones de fósforo total y nitratos. Las concentraciones de oxígeno disuelto son un riesgo para la vida acuática aerobia. Nuestros resultados resaltan la necesidad de establecer y mantener el monitoreo de las concentraciones de los nutrientes y de oxígeno disuelto en estos ambientes para disminuir el riesgo ecológico asociado a estos parámetros de la calidad del agua.

PROSPECTIVA

En este artículo se evaluaron las características físicas y químicas del agua del arroyo Quilamula; sin embargo, aún faltan investigaciones para entender por completo su biodiversidad y su función en el ecosistema circundante. En particular, es necesario elaborar un inventario de las especies que habitan en el arroyo Quilamula, que incluya a los organismos acuáticos, aves y mamíferos que dependen de este ecosistema acuático. La identificación de las especies presentes también es útil para comprender cómo los cambios en el clima y la hidrología afectan la biodiversidad del arroyo. Además de la importancia ecológica, es fundamental destacar la importancia social y económica del arroyo Quilamula para las comunidades cercanas. Adicionalmente, es necesario evaluar la calidad del agua en términos de la presencia de contaminantes tanto en la columna de agua como en los sedimentos para entender el impacto de la actividad humana en el arroyo. En conclusión, a partir de un análisis de estos aspectos es posible implementar medidas efectivas para la conservación del arroyo Quilamula.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos los valiosos comentarios, observaciones y correcciones de los revisores, las cuales contribuyeron a mejorar la calidad de este artículo.

REFERENCIAS

- Acuña, V., Datry, T., Marshall, J., Barceló, D., Dahm, C. N., Ginebreda, A., McGregor, G., Sabater, S., Tockner, K., & Palmer, M. A. (2014). Why should we care about temporary waterways? *Science*, *343*, 1080-1081. <https://doi.org/10.1126/science.1246666>
- Allan, J. D., & Flecker, A. S. (1993). Biodiversity conservation in running waters. *BioScience*, *43*(1), 32-43. <https://doi.org/10.2307/1312104>
- APHA (American Public Health Association). (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Water Works Association.
- Arle, J., & Wagner, F. (2013). Effects of anthropogenic salinisation on the ecological status of macroinvertebrate assemblages in the Werra River (Thuringia, Germany). *Hydrobiologia*, *701*(1), 129-148. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1265-z>

- Barats, A., Renac, C., Orani, A. M., Durrieu, G., Saint Martin, H., Esteller, M. V., & Hoyos, S. E. G. (2020). Tracing source and mobility of arsenic and trace elements in a hydrosystem impacted by past mining activities (Morelos state, Mexico). *Science of the Total Environment*, 712, 135565. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135565>
- Bojorge-García, M., Carmona, J., Beltrán, Y., & Cartajena, M. (2010). Temporal and spatial distribution of macroalgal communities of mountain streams in Valle de Bravo Basin, central Mexico. *Hydrobiologia*, 641, 159-169. <https://doi.org/10.1007/s10750-009-0074-5>
- Boyd, C. E., Tucker, C. S., & Somridhivej, B. (2016). Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(1), 6-41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12241>
- Caissie, D. (2006). The thermal regime of rivers: a review. *Freshwater biology*, 51(8), 1389-1406. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x>
- Carmona, J., Bojorge-García, M., Beltrán, Y., & Ramírez-Rodríguez, R. (2009). Phenology of *Sirodotia suecica* (Batrachospermaceae, Rhodophyta) in a high-altitude stream in central Mexico. *Phycological Research*, 57(2), 118-126. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1835.2009.00528.x>
- Caro-Borrero, A., Carmona-Jiménez, J., & Figueroa, F. (2020). Water resources conservation and rural livelihoods in protected areas of central Mexico. *Journal of Rural Studies*, 78, 12-24. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.05.008>
- Castellazzi, P., Martel, R., Rivera, A., Huang, J., Pavlic, G., Calderhead, A. I., Chaussard, E., Garfias J., & Salas, J. (2016). Groundwater depletion in Central Mexico: Use of GRACE and InSAR to support water resources management. *Water Resources Research*, 52(8), 5985-6003. <https://doi.org/10.1002/2015WR018211>
- Chapman, P. M., Bailey, H., & Canaria, E. (2000). Toxicity of total dissolved solids associated with two mine effluents to chironomid larvae and early life stages of rainbow trout. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 19(1), 210-214. <https://doi.org/10.1002/etc.5620190125>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2005). *Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, México*.
- Correll, D. L. (1998). The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *Journal of Environmental Quality*, 27(2), 261-266. <https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700020004x>
- Cosgrove, W. J., & Loucks, D. P. (2015). Water management: Current and future challenges and research directions. *Water Resources Research*, 51(6), 4823-4839. <https://doi.org/10.1002/2014WR016869>
- Daniel, T. C., Sharpley, A. N., & Lemunyon, J. L. (1998). Agricultural phosphorus and eutrophication: A symposium overview. *Journal of Environmental Quality*, 27(2), 251-257. <https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700020002x>
- Datry, T., Boulton, A. J., Bonada, N., Fritz, K., Leigh, C., Sauquet, E., Tockner, K., Hugueny, B., & Dahm, C. N. (2017). Flow intermittence and ecosystem services in rivers of the Anthropocene. *Journal of Applied Ecology*, 2017, 1-12. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12941>
- Davis, J. C. (1975). Minimal dissolved oxygen requirements of aquatic life with emphasis on Canadian species: a review. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 32(12), 2295-2332. <https://doi.org/10.1139/f75-268>
- Dokulil, M. T., & Teubner, K. (2011). Eutrophication and Climate Change: Present Situation and Future Scenarios. In A. Ansari, S. Singh Gill, , G. Lanza, W. Rast (Eds.), *Eutrophication: causes, consequences and control*. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9625-8_1
- Domínguez-Domínguez, O., Martínez-Meyer, E., Zambrano, L., & Pérez-Ponce, G. (2006). Using ecological niche modeling as a conservation tool for freshwater species: live bearing fishes in central Mexico. *Conservation Biology*, 20(6), 1730-1739. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00588.x>

- EPA (Environmental Protection Agency). (2023). *pH*. <https://www.epa.gov/caddis-vol2/ph>
- Ghavidel, S., & Montaseri, M. (2014). Application of different data-driven methods for the prediction of total dissolved solids in the Zarinehroud basin. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28, 2101-2118. <https://doi.org/10.1007/s00477-014-0899-y>
- Gholami, S., & Srikantaswamy, S. (2009). Analysis of agricultural impact on the Cauvery river water around KRS dam. *World Applied Sciences Journal*, 6(8), 1157-1169.
- Gómez, R., Arce, M. I., Baldwin, D. S., & Dahm, C. N. (2017). Water physicochemistry in intermittent rivers and ephemeral streams. In T. Datry, N. Bonada & A. Boulton (Eds.), *Intermittent rivers and ephemeral streams. Ecology and Management*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803835-2.00005-X>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Hanjra, M. A., & Qureshi, M. E. (2010). Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy*, 35(5), 365-377. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.05.006>
- Herrera-Pantoja, M., & Hiscock, K. M. (2015). Projected impacts of climate change on water availability indicators in a semi-arid region of central Mexico. *Environmental Science & Policy*, 54, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.06.020>
- Hong, Y., Zhu, Z., Liao, W., Yan, Z., Feng, C., & Xu, D. (2023). Freshwater water-quality criteria for chloride and guidance for the revision of the water-quality standard in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 2875. <https://doi.org/10.1016/10.3390/ijerph20042875>
- Ice, G., & Sugden, B. (2003). Summer dissolved oxygen concentrations in forested streams of northern Louisiana. *Southern Journal of Applied Forestry*, 27(2), 92-99. <https://doi.org/10.1093/sjaf/27.2.92>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tlaquiltenango, Morelos. Clave geoestadística 17025*.
- Kiser, A. H., Cummings, K. S., Tiemann, J. S., Smith, C. H., Johnson, N. A., Lopez, R. R., & Randklev, C. R. (2022). Using a multi-model ensemble approach to determine biodiversity hotspots with limited occurrence data in understudied areas: An example using freshwater mussels in México. *Ecology and Evolution*, 12(5), e8909. <https://doi.org/10.1002/ece3.8909>
- Koundouri, P., Boulton, A. J., Datry, T., & Souliotis, I. (2017). Ecosystem services, values, and societal perceptions of intermittent rivers and ephemeral streams. In T. Datry, N. Bonada & A. Boulton (Eds.), *Intermittent rivers and ephemeral streams. Ecology and Management*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803835-2.00018-8>
- Kumar, P., Lai, S. H., Wong, J. K., Mohd, N. S., Kamal, M. R., Afan, H. A., Ahmed A. N, Sherif M., Sefelnasr A., & El-Shafie, A. (2020). Review of nitrogen compounds prediction in water bodies using artificial neural networks and other models. *Sustainability*, 12(11), 4359. <https://doi.org/10.3390/su12114359>
- Long, W. C., Brylawski, B. J., & Seitz, R. D. (2008). Behavioral effects of low dissolved oxygen on the bivalve *Macoma balthica*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 359(1), 34-39. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.02.013>
- López-López, E., Sedeño-Díaz, J. E., Mendoza-Martínez, E., Gómez-Ruiz, A., Martínez & Ramírez, E. (2019). Water quality and macroinvertebrate community in dryland streams: The case of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve (México) facing climate change. *Water*, 11(7), 1376. <https://doi.org/10.3390/w11071376>

- Lyons, J., Navarro-Pérez, S., Cochran, P. A., Santana, E. C., & Guzmán-Arroyo, M. (1995). Index of biotic integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in west-central Mexico. *Conservation Biology*, 9(3), 569-584. <https://doi.org/0.1046/j.1523-1739.1995.09030569.x>
- Mattson, V. R., Hockett, J. R., Highland, T. L., Ankley, G. T., & Mount, D. R. (2008). Effects of low dissolved oxygen on organisms used in freshwater sediment toxicity tests. *Chemosphere*, 70(10), 1840-1844. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.08.006>
- Merriam, E. R., Strager, M. P., & Petty, J. T. (2022). Source water vulnerability to elevated total dissolved solids within a mixed-use Appalachian River basin. *PLOS Water*, 1(8), e0000035. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000035>
- Meybeck, M. (1982). Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *American Journal of Science*, 282(4), 401-450. <https://doi.org/10.2475/ajs.282.4.401>
- Meybeck, M. (2003). Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences*, 358(1440), 1935-1955. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1379>
- Nandini, S., Ramírez-García, P., Sarma, S. S. S., & Gutierrez-Ochoa, R. A. (2019). Planktonic indicators of water quality: a case study in the Amacuzac River basin (State of Morelos, Mexico). *River Research and Applications*, 35(3), 268-279. <https://doi.org/10.1002/rra.3401>
- Oliva-Martínez, M. G., Ramírez-Martínez, J. G., Garduño-Solórzano, G., Cañetas-Ortega, J., & 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. <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/1043>
- Pringle, C. M., Freeman, M. C., & Freeman, B. J. (2000). Regional effects of hydrologic alterations on riverine macrobiota in the new world: tropical-temperate comparisons: The massive scope of large dams and other hydrologic modifications in the temperate New World has resulted in distinct regional trends of biotic impoverishment. *BioScience*, 50(9), 807-823. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0807:REOHAO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0807:REOHAO]2.0.CO;2)
- Randall, D. J., & Tsui, T. K. N. (2002). Ammonia toxicity in fish. *Marine Pollution Bulletin*, 45(1-12), 17-23. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00227-8)
- Rico-Sánchez, A. E., Rodríguez-Romero, A. J., Sedeño-Díaz, J. E., López-López, E., & Sundermann, A. (2022). Aquatic macroinvertebrate assemblages in rivers influenced by mining activities. *Scientific Reports*, 12(1), 3209. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06869-2>
- Ringnér, M. (2008). What is principal component analysis? *Nature Biotechnology*, 26(3), 303-304. <https://doi.org/10.1038/nbt0308-303>
- Stubbington, R., England, J., Wood, P. J., & Sefton, C. E. M. (2017). Temporary streams in temperate zones: Recognizing, monitoring and restoring transitional aquatic-terrestrial ecosystems. *WIREs Water*, 4(4). <https://doi.org/10.1002/wat2.1223>
- Sun, H., Li, J., Tang, L., & Yang, Z. (2012). Responses of crucian carp *Carassius auratus* to long-term exposure to nitrite and low dissolved oxygen levels. *Biochemical Systematics and Ecology*, 44, 224-232. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2012.06.011>
- Thornton, P., & Herrero, M. (2010). The inter-linkages between rapid growth in livestock production, climate change, and the impacts on water resources, land use, and deforestation. *World Bank Policy Research Working Paper*, 5178. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5178>
- Vagheei, H., Laini, A., Vezza, P., Palau-Salvador, G., & Boano, F. (2022). Ecohydrologic modeling using nitrate, ammonium, phosphorus, and macroinvertebrates as aquatic ecosystem health indicators of Albaida Valley (Spain). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 42, 101155. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101155>

- Van der Aa, M. (2003). Classification of mineral water types and comparison with drinking water standards. *Environmental Geology*, 44(5), 554-563. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0791-4>
- Vargas-Solano, S. V., Rodríguez-González, F., Arenas-Ocampo, M. L., Martínez-Velarde, R., Sujitha, S. B., & Jonathan, M. P. (2019). Heavy metals in the volcanic and peri-urban terrain watershed of the River Yautepec, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7300-z>
- Vargas-Solano, S. V., Rodríguez-González, F., Martínez-Velarde, R., Morales-García, S. S., & Jonathan, M. P. (2022). Removal of heavy metals present in water from the Yautepec River Morelos México, using *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Environmental Advances*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100160>
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (third edition). San Diego: Academic Press.
- Wetzel, R. G., & Likens, G. E. (2000). The inorganic carbon complex: alkalinity, acidity, CO₂, pH, total inorganic carbon, hardness, aluminum. In R. G. Wetzel & G. E. Likens (Eds.), *Limnological Analyses*. New York: Springer. https://doi.org/10.1016/10.1007/978-1-4757-3250-4_8

NOTAS

- [1] GraphPad Software, San Diego, California USA. Disponible en www.graphpad.com.



Disponible en: <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/21714>

Cómo citar el artículo:

García-Rodríguez, J., Olivares-Rubio, H. F., Díaz-Vargas, M., Arce, E. y Franco, M. (2025). Condiciones físicas y químicas del arroyo Quilamula, Morelos, México. *CIENCIA ergo-sum*, 31. <https://doi.org/10.30878/ces.v32n0a26>

DOI: <https://doi.org/10.30878/ces.v32n0a26>



Licencia Creative Commons Atribución-No-Comercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Declaración de autoría (CRediT):

Judith García-Rodríguez: conceptualización, curación de datos, metodología, administración del proyecto, supervisión, redacción-revisión y edición.

Hugo F. Olivares-Rubio: conceptualización, análisis formal, investigación, *software*, validación, visualización, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.

Migdalia Díaz-Vargas: investigación, validación, redacción-revisión y edición.

Elsah Arce: investigación, redacción-borrador original, validación, redacción-revisión y edición.

Marco Franco: investigación, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.