

International Journal of **Biological and Natural Sciences**

CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO AMANALCO, ESTADO DE MÉXICO, BASADO EN ENSAMBLAJES DE MACRO- INVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Valentin Marin Ortega

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx)

Marivel Hernández Téllez

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx)

Petra Sánchez Nava

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx)

Razo-González María

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, México

Mercedes Lucero Chávez

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx)

Cristina Burrola Aguilar

Centro de Investigación en Recursos Bióticos, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx)

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Alejandro Tonatiuh Romero Contreras
Instituto Interamericano de Tecnología y
Ciencias del Agua, Universidad Autónoma
del Estado de México (UAEMéx)

Miguel Ángel Gómez Albores
Instituto Interamericano de Tecnología y
Ciencias del Agua, Universidad Autónoma
del Estado de México (UAEMéx)

Resumen: El objetivo de este estudio fue conocer la calidad del agua con base en las familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en seis sitios del río Amanalco (México). En cada sitio se midió temperatura, conductividad, pH y concentración de oxígeno disuelto, concentración de fósforo total, demanda química de oxígeno (DQO), nitratos, sulfatos y alcalinidad y se determinó el índice BMWP/Méx. Se recolectaron 1000 organismos de macroinvertebrados acuáticos clasificados en cuatro phyla, seis clases, 15 órdenes y 33 familias, en tres muestreos durante junio y noviembre de 2017 y febrero de 2018. La calidad del agua de los seis sitios del río Amanalco de acuerdo al índice BMWP/Méx., se considera “aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada” con valores que se encuentran entre los 61 y 100 puntos. Lo anterior, después de asignar una clasificación de tolerancia a la contaminación a las familias que no incluye el BMWP/Méx. y después, se realizó una comparación entre los valores del BMWP/Méx y los parámetros fisicoquímicos evaluados. Finalmente se hizo una propuesta del índice BMWP exclusivo para el río Amanalco (BMWP/Aml.) basado en el BMWP/Méx. con las familias de macroinvertebrados acuáticos encontradas.

Palabras clave: Calidad del agua, macroinvertebrados acuáticos, contaminación, BMWP/Méx., río Amanalco.

INTRODUCCIÓN

El incremento de la contaminación de los recursos hídricos, ha favorecido la investigación enfocada a la conservación y manejo del agua. Uno de los métodos que ha tenido gran aceptación, es el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP por sus siglas en inglés). Este método se desarrolló en Inglaterra por Hellowell (1978), como una herramienta para analizar la tolerancia a la contaminación orgánica de familias de

macroinvertebrados acuáticos (Naranjo-López y López-del Castillo, 2013).

El BMWP se basa en la capacidad que tiene los macroinvertebrados acuáticos para ser tolerantes o sensibles a la contaminación del agua, es así que los macroinvertebrados acuáticos funcionan como una herramienta para evaluar el grado de contaminación y se puede hacer una aproximación más real de las condiciones ambientales existentes (Castillo et al., 2006). El método ordena las familias de macroinvertebrados en diez niveles y se les hizo corresponder con una puntuación entre uno y diez, siguiendo un gradiente de mayor a menor tolerancia a la contaminación (Naranjo-López y López-del Castillo, 2013).

El río Amanalco se ubica en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco y en la subcuenca del río Amanalco. La subcuenca cuenta con una superficie de 227.9 Km², se divide en ocho microcuencas delimitadas por los afluentes del río Amanalco con varios afluentes secundarios. La corriente del Río Amanalco proviene del noreste y fluye en dirección oeste, pasa por el poblado de San Bartolo y Santa María Pipioltepec hasta llegar a la presa Miguel Alemán en Valle de Bravo. A esta subcuenca pertenecen las microcuencas de los ríos el Salto, Agua Bendita y la Candelaria (IMTA y FGRA, 2012). En esta subcuenca se localiza la cabecera municipal de Amanalco y una importante cantidad de la población hacia la parte media baja.

Partiendo de los resultados obtenidos de la aplicación del índice BMWP en Inglaterra, en Sudamérica se realizaron diferentes adaptaciones de acuerdo a la fauna existente en los ríos de Argentina, Colombia, Ecuador, Venezuela, siendo estos países, referentes de los diversos estudios realizados (MMAyA, 2012). Además de los países antes mencionados, en México, se adaptó dicho índice como BMWP/Méx., aunque esta adaptación sólo considera nueve niveles ocupando el nivel uno las

familias más tolerantes a la contaminación y el nivel nueve, las familias más sensibles a la contaminación (Pineda, et al., 2014).

Tomando en cuenta la flexibilidad del método y la oportunidad de aplicación en cuerpos de agua de México, el propósito de este estudio fue evaluar la calidad del agua del río Amanalco mediante el cálculo del índice BMWP/Méx. utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, esperando que en los sitios más cercanos al nacimiento del río se encuentren especies de macroinvertebrados acuáticos intolerantes a la contaminación, a diferencia de los sitios cercanos a la desembocadura del río donde se espera encontrar especies tolerantes a la contaminación.

MATERIAL Y MÉTODOS

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio es el río principal (río Amanalco) de la subcuenca del río Amanalco, la cual pertenece a la cuenca Valle de Bravo-Amanalco. Esta última, es a su vez una subcuenca de la cuenca del río Cutzamala, que es un afluente del río Balsas, el cual desemboca en el océano Pacífico (CCVBA, 2011).

La subcuenca del río Amanalco comprende los municipios de Amanalco, en su mayor parte de los municipios de Valle de Bravo y Donato Guerra, así como superficies mínimas de los municipios de Villa Victoria, Villa de Allende, Almoloya de Juárez y Zinacantepec (Fig. 1). La subcuenca inicia desde la parte alta de la cuenca a los 3744 msnm hasta llegar al vaso de la presa Miguel Alemán a los 1783 msnm. Esta subcuenca abarca 22638.38 hectáreas de tierra (CCMSS en prensa-b).

La subcuenca del río Amanalco presenta el clima característico de la zona centro-sur de México: árido en invierno, húmedo y lluvioso en el verano. De acuerdo con la altura, se puede dividir en tres tipos: 1) Semifrío subhúmedo, 2) Templado subhúmedo

(predominante) y 3) Semicálido subhúmedo. Asociado a lo anterior, se presenta vegetación compuesta por bosques de oyamel en la parte alta, arriba de los 2800 msnm, bosques de pino y pino y encino entre los 2400 y 2800 msnm. Las principales especies de coníferas de la región son *Pinus sp.* y *Abies sp.*, así como en las latifoliadas, distintas variedades de *Quercus sp.*, *Alnus sp.* y *Arbutus sp.* (CCMSS en prensa-b).

SITIOS DE MUESTREO

Tomando en cuenta la extensión del río Amanalco, las características y las actividades de las poblaciones por donde el río atraviesa, se seleccionaron seis sitios de muestreo (Tabla 1) que se detectaron como de mayor influencia en la calidad de agua.

Además, los seis puntos fueron seleccionados tomando en cuenta que éstos presentaran diversos microhábitats, tanto en el cauce del río como en las orillas y fondo del mismo.

Los puntos de muestreo seleccionados, se exportaron en el programa TerrSet (Eastman, 2016) para poder ubicarlos en el segmento del río estudiado (Fig. 1).

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA

Previo a la recolección de los macroinvertebrados acuáticos, se registraron algunos parámetros fisicoquímicos del agua como son: temperatura (NMX-AA-093-SCFI-2009), conductividad (NMX-AA-093-SCFI-2009), pH (NMX-AA-008-SCFI-2016) y concentración de oxígeno disuelto (NMX-AA-012-SCFI-2001) con ayuda de un medidor multiparamétrico marca EXTECH, modelo D0700. Adicionalmente se recolectaron muestras de agua, las cuales se etiquetaron y trasladaron al laboratorio determinar las concentraciones de fósforo total (NMX-AA-029-SCFI-2001), demanda química de

oxígeno (DQO; NMX-AA-030/1-SCFI-2012), nitratos (NMX-AA-079-SCFI-2001), sulfatos (NMX-AA-074-SCFI-2014) y alcalinidad (NMX-AA-036-SCFI-2001), de acuerdo a los métodos que marcan las Normas Mexicanas de referencia para determinar la calidad del agua. Esto con la finalidad de apoyar los resultados obtenidos en el cálculo del índice BMWP.

RECOLECTA E IDENTIFICACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Se realizaron tres muestreos, durante los meses de junio y noviembre de 2017 y febrero de 2018, debido a que las corrientes son más estables en época de estiaje (Barbour et al., 1999), lo que permite obtener muestras de taxa residentes en los sitios de muestreo y disminuye el efecto de arrastre provocado por las corrientes cuando aumenta el nivel del agua en época de lluvias.

La recolección de macroinvertebrados acuáticos se realizó de aguas río abajo hacia aguas río arriba con base en el método de Roldán (2012) modificado y, el protocolo de muestreo de macroinvertebrados para ambientes de aguas poco profundas (Ramírez, 2010a), utilizando una red acuática tipo D con una apertura de malla de 1.5 mm. Durante la recolección de muestras, se dispuso la red contra la corriente, al tiempo que se removía el fondo y rocas para desprender los organismos del sustrato. Así mismo se recolectaron organismos de la vegetación existente en las orillas del río, rocas de tamaño considerable, troncos y suelo, abarcando una superficie de 10 m² aproximadamente. Las muestras se fijaron en recipientes plásticos debidamente rotulados con alcohol al 70%.

Los macroinvertebrados fueron identificados a nivel de familia, nivel mínimo requerido para la aplicación del índice BMWP/Méx. La identificación se realizó con ayuda

Sitio	Coordenadas UTM WGS84		Características
	Longitud	Latitud	
RC	393493	2128466	Agua potable para la cabecera municipal de Amanalco
LC	392834	2129742	Unión del río Chiquito con el río Amanalco
LA	387844	2127460	Recibe desechos de agricultura (flor)
SF	384886	2127912	Recibe desechos de agricultura (hortalizas)
ES	382604	2126921	Recibe desechos de agricultura y drenaje sanitario
EA	381477	2125967	Último muestreo, antes de Presa Miguel Alemán

Tabla 1: Coordenadas de los sitios de muestreo en el río Amanalco.

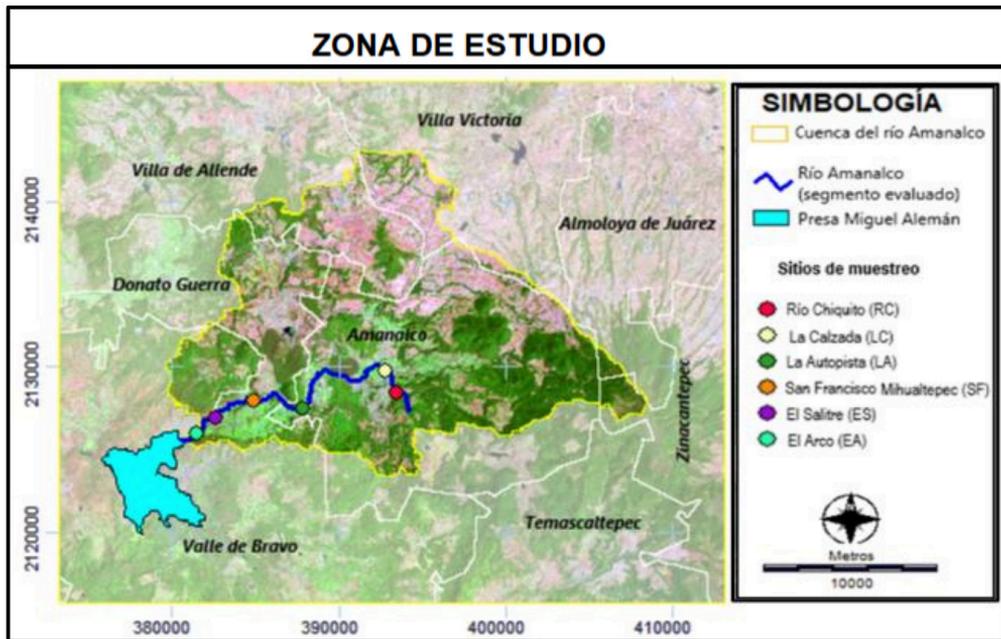


Figura 1: Localización de los sitios de estudio en el río Amanalco, Estado de México, México.

FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS	PUNTUACIÓN BMWP/MÉX.
Politoridae, Blephariceridae, Athericidae, Heptageniidae, Perlidae	9
Lepidostomatidae, Odontoceridae, Hidrobiosidae, Ecnomidae, Leptophlebiidae, Cordulegastriidae, Corduliidae, Aeshnidae, Perilestidae, Limnephilidae, Calamoceratidae, Leptoceridae, Glossosomatidae	8
Ptilodactylidae, Psephenidae, Lutrochidae, Gomphidae, Lestidae, Megapodagrionidae, Philopotamidae, Gammaridae	7
Libellulidae, Corydalidae, Hydroptilidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae, Isonychidae	6
Pyralidae, Hydropsychidae, Helicopsychidae, Dryopidae, Hydraenidae, Elmidae, Limnichidae, Leptohiphidae, Oligoneuriidae, Polymitarcyidae, Baetidae, Crustacea, Turbellaria	5
Chrysomelidae, Curculionidae, Haliplidae, Lampyridae, Staphylinidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Scirtidae, Noteridae, Dixidae, Simuliidae, Tipulidae, Dolichopodidae, Empididae, Muscidae, Sciomyzidae, Ceratopogonidae, Stratiomyidae, Tabanidae, Belostomatidae, Corixidae, Naucoridae, Pleidae, Nepidae, Notonectidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Caenidae, Hidracarina	4
Hydrophilidae, Psychodidae, Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Bithyniidae, Sphaeriidae, Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpobdellida, Asellidae	3
Chironomidae, Culicidae, Ephydriidae	2
Syrphidae, Oligochaeta	1

Tabla 2: Clasificación de las familias de macroinvertebrados para el BMWP/Méx. (Pineda et al., 2014).

de claves, guías y material de apoyo adicional (Roldán, 1996; Posada-García, 2003; Álvarez-Arango, 2005; Flowers y De la Rosa, 2010; Gutiérrez-Fonseca, 2010; Ramírez, 2010b; Springer, 2010; MMayA, 2012; y López-Delgado et al., 2015).

CÁLCULO DEL ÍNDICE BMWP/MÉX

Para determinar el valor del índice BMWP/Méx para cada uno de los sitios en el río Amanalco, se sumaron los valores de tolerancia establecidos para cada familia identificada (Pineda et al., 2014) y los resultados se interpretaron con base en la Tabla 3 para asignar los puntajes de calidad del agua correspondientes.

ANÁLISIS DE DATOS

Se determinó la abundancia relativa de cada familia con ayuda de la fórmula:

$$\text{Abundancia relativa} = \frac{\text{número de individuos de la familia } x}{\text{número total de individuos}}$$

La riqueza se determinó por el número de familias encontradas en cada punto. Respecto a la comparación de la riqueza y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los diferentes puntos de muestreo se utilizó la prueba de Kruskal-wallis, ya que es el método más adecuado para comparar poblaciones cuyas distribuciones no son normales.

También se calculó el índice de similitud de Bray-Curtis entre los sitios utilizando las abundancias de las familias.

Para relacionar la abundancia de macroinvertebrados acuáticos con las variables fisicoquímicas en los puntos de muestreo, se realizó un análisis de correspondencia canónica. Los análisis anteriores se realizaron en el programa Past (<https://www.portalprogramas.com/past/>).

RESULTADOS

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD

Durante el estudio se recolectaron un total de 1000 organismos, que se clasificaron en cuatro phyla, seis clases, 15 órdenes y 33 familias, siendo el phylum Artropoda el más diverso. Entre las familias identificadas, la más abundante fue Tipulidae (607 ejemplares), seguida de Lestidae (81 ejemplares); Gammaridae (34 ejemplares) e Hydrophilidae (33 ejemplares). El resto de las familias, tuvieron una abundancia menor 30 individuos (Tabla 5). Las familias presentes en todos los sitios de muestreo fueron Hydrobiosidae, Leptoceridae y los organismos del orden Lumbriculida, el resto de las familias se encontraron en cinco sitios o menos. Cabe mencionar que en el caso de las familias Curculionidae, Planorbidae, Chordodidae, Limnephilidae, Helicidae y Crambidae, sólo se registró un individuo.

NIVEL DE CALIDAD	BMWP/Méx	COLOR
Aguas de calidad excelente.	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas.	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	16-36	Naranja
Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas	>15	Rojo

Tabla 3: Rangos de calidad según el BMWP (Pineda et al., 2014).

FAMILIA	ABUNDANCIA	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FAMILIA	ABUNDANCIA	ABUNDANCIA RELATIVA (%)
Tipulidae	607	60.7	Notonectidae	7	0.7
Lestidae	81	8.1	Simuliidae	6	0.6
Gammaridae	34	3.4	Dytiscidae	4	0.4
Hydrophilidae	33	3.3	Tabanidae	3	0.3
Hydrobiosidae	28	2.8	Corixidae	3	0.3
Physidae	27	2.7	Glossiphoniidae	3	0.3
Aeshnidae	22	2.2	Corydalidae	2	0.2
Belostomatidae	21	2.1	Chironomidae	2	0.2
Lumbriculida	20	2.0	Syrphidae	2	0.2
Gomphidae	18	1.8	Scarabaeidae	2	0.2
Leptoceridae	14	1.4	Curculionidae	1	0.1
Hyaellidae	12	1.2	Planorbidae	1	0.1
Elmidae	10	1.0	Chordodidae	1	0.1
Armadillidiidae	9	0.9	Limnephilidae	1	0.1
Perlidae	8	0.8	Helicidae	1	0.1
Hydropsychidae	8	0.8	Crambidae	1	0.1
Veliidae	8	0.8	TOTAL	1000	1000

Tabla 5: Abundancia absoluta y relativa de las familias recolectadas en el río Amanalco.

Familias/SITIO	1	2	3	4	5	6	TOTAL
Tipulidae	18	94	138	243	61	53	607
Lestidae	19	8	24	5	6	19	81
Gammaridae	0	4	0	0	20	10	34
Hydrophilidae	0	32	0	0	0	1	33
Hydrobiosidae	4	8	9	4	1	2	28
Physidae	0	3	6	9	4	5	27
Aeshnidae	6	4	6	5	0	1	22
Belostomatidae	0	3	0	2	13	3	21
Lumbriculida 1	2	6	5	2	4	1	20

Gomphidae	14	0	3	0	0	1	18
Leptoceridae	2	1	2	1	3	5	14
Hyaellidae	0	0	0	0	0	12	12
Elmidae	3	5	1	1	0	0	10
Armadillidiidae	1	5	0	0	2	1	9
Perlidae	5	0	1	0	1	1	8
Hydropsychidae	0	0	0	0	0	8	8
Veliidae	1	0	1	0	6	0	8
Notonectidae	0	7	0	0	0	0	7
Simuliidae	0	0	0	0	6	0	6
Dytiscidae	0	4	0	0	0	0	4
Tabanidae	2	0	0	0	1	0	3
Corixidae	0	3	0	0	0	0	3
Glossiphoniidae	1	1	0	1	0	0	3
Corydalidae	0	0	0	1	1	0	2
Chironomidae	1	0	1	0	0	0	2
Syrphidae	0	0	0	1	1	0	2
Scarabaeidae	1	0	0	0	1	0	2
Curculionidae	1	0	0	0	0	0	1
Planorbidae	0	1	0	0	0	0	1
Chordodidae	0	0	0	1	0	0	1
Limnephilidae	1	0	0	0	0	0	1
Helicidae	1	0	0	0	0	0	1
Crambidae	0	0	1	0	0	0	1
TOTAL	83	189	198	276	131	123	1000

Tabla 6: Abundancia de macroinvertebrados acuáticos recolectados en el río Amanalco, Estado de México, México.

ÍNDICE BMWP/MÉX

En el análisis del índice BMWP/Méx., para los seis sitios del río Amanalco, se encontró un rango de puntajes desde 58 hasta 75 (Tabla 8). Los valores del índice sugieren que la calidad del agua en los sitios estudiados va de aguas de mala calidad en San Francisco Mihualtepec (SF), a regular en el resto de los sitios.

De las ocho familias no incluidas en el BMWP/Méx., algunas se han incluido en varios estudios de otros países en las adaptaciones locales con su respectiva calificación, tal es el caso de Veliidae (3), Scarabaeidae (5), Hyalellidae (3) y Crambidae (5) en Puerto Rico (Gutiérrez-Fonseca *et al.*, 2016); Chordodidae (10), Limnephilidae (9), Hyalellidae (7) en Colombia (Álvarez-Arango, 2005); Limnephilidae (7) y Veliidae (5) en Bolivia (MMAYa, 2012); Limnephilidae (7) en Inglaterra (Correa, 2000); Limnephilidae (7) y Veliidae (3) en España (Correa, 2000) y Veliidae (6) en Cuba (Muñoz-Riveaux *et al.*, 2003).

Con ayuda de las tablas 6 sobre las familias encontradas por sitio y la tabla 7, calificación

de tolerancia a la contaminación por familia y a la interpretación de la tabla 3, se calculó el índice BMWP/Méx. por sitio, quedando como se menciona a continuación.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA

Se compararon los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de los seis sitios con la NOM-001-SEMARNAT-1996 en su apartado de protección para la vida acuática, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas bienes nacionales (Tabla 9).

La comparación, muestra que, de los tres parámetros normados, temperatura y nitrógeno están dentro de los límites; mientras que fósforo total, se cumple con la norma en los sitios Río Chiquito, La Calzada, La Autopista, San Francisco Mihualtepec y El arco. En el sitio El Salitre se encontraron 11.26 mg/l, niveles por encima del límite de 10 mg/l.

FAMILIA	BMWP/MÉX	FAMILIA	BMWP/MÉX
Perlidae	9	Dytiscidae	4
Aeshnidae	8	Notonectidae	4
Leptoceridae	8	Curculionidae	4
Hydrobiosidae	8	Simuliidae	4
Gammaridae	7	Corixidae	4
Gomphidae	7	Physidae	3
Lestidae	7	Planorbidae	3
Corydalidae	6	Hydrophilidae	3
Hydropsychidae	5	Glossiphoniidae	3
Elmidae	5	Chironomidae	2
Tipulidae	4	Syrphidae	1
Tabanidae	4	Oligochaeta (Lumbriculida 1)	1
Belostomatidae	4		

Tabla 7: Calificación asignada a las familias de macroinvertebrados acuáticos en el índice BMWP/Méx. (Pineda et al., 2014).

SITIO	BMWP/Méx.	NIVEL DE CALIDAD
RC	70	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.
LC	75	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.
LA	62	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.
SF	58	Aguas de calidad mala, contaminadas.
ES	66	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.
EA	74	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.

Tabla 8: clasificación de la calidad del agua según el índice BMWP/Méx. para los sitios muestreados en el río Amanalco.

PARÁMETRO	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5	SITIO 6	NOM-001-SEMARNAT-1996
pH	7.96	7.275	6.83	7.485	7.48	7.145	No Normado
T (°C)	14.025	14.65	15.675	18.425	19.225	19.125	40
OD (mg/l)	11.07	10.645	9.475	10.335	10.385	11.325	No Normado
σ (μ S/cm)	105.7	115.85	156.15	170.3	192.33	202.7	No Normado
PT (mg/l)	1.2921	2.0278	3.3195	7.611	11.25865	7.2928	10
DQO (mg/l)	10	10	No Detectado	46	1	17	No Normado
N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	0.7195	0.825	1.585	1.1105	1.765	1.585	25
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	6.121	6.71765	10.10375	12.77735	13.87485	11.8248	No Normado
Alc (mg/l)	3.1	3.0	3.5	4.6	4.8	5.3	No Normado

Tabla 9: Valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos en los sitios de muestreo y su comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la protección de la vida acuática. pH = Potencial de Hidrógeno, T = temperatura, OD = Concentración de oxígeno disuelto, σ = Conductividad eléctrica, PT = fósforo total, DQO = Demanda química de oxígeno, N-NO₃⁻ = Nitrógeno en forma de nitratos, SO₄²⁻ = Sulfatos y Alc = Alcalinidad.

ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis estadístico de las familias y abundancia encontradas por sitio, la prueba Kruskal-Wallis, arrojó un valor $H=2.14$ con una probabilidad $p=0.77$, indicando que no hay diferencias significativas entre las familias de macroinvertebrados acuáticos encontradas por sitio.

De acuerdo con el análisis de cluster, se separan dos grupos que contienen los sitios más parecidos entre sí; en uno de ellos, se agrupan los sitios LC, LA y SF, mientras que, en el otro grupo, se encuentran los sitios ES y EA, dejando de lado el sitio RC, que es el sitio que menos se parece (Fig. 2). Se encontró que los sitios que más se parecen son los sitios LA y SF, con una similitud de 68.35%; mientras que el sitio RC es el que menos se parece a los otros cinco con menos del 44.66% de similitud., además, cabe mencionar que, si bien, este no fue el sitio con menos familias, sí fue el sitio con menos organismos recolectados, encontrándose 83 organismos de las 18 familias.

DISCUSIÓN

El índice BMWP es una herramienta eficaz para evaluar de manera rápida y económica la calidad del agua, en comparación con los métodos fisicoquímicos que, proveen información puntual y de elevados costos según el tipo y número de análisis a realizar.

El río Amanalco alberga familias que presentan diferentes valores de tolerancia en el índice BMWP/Méx., entre ellas, destacan Perlidae, Aeschnidae, Leptoceridae e Hydrobiosidae, que son indicadoras de aguas de buena calidad, en cambio, se registraron las familias Chironomidae, Syrphidae y organismos del orden Lumbriculida, que se encuentran comúnmente en aguas contaminadas o de mala calidad (Pineda et al., 2014).

De manera general, los sitios evaluados en el río Amanalco presentaron un índice que se ubica entre 58 y 75 puntos, que corresponde a aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada (de 60 a 100 puntos) para los sitios RC, LC, LA, ES y EA; y Aguas de calidad mala, contaminadas (de 36 a 60 puntos) para el sitio SF. Lo que indica que, si bien no son aguas de la mejor calidad, existe la posibilidad de proponer un plan de manejo que ayude a mitigar los efectos contaminantes y realizar acciones que apoyen su conservación y restauración.

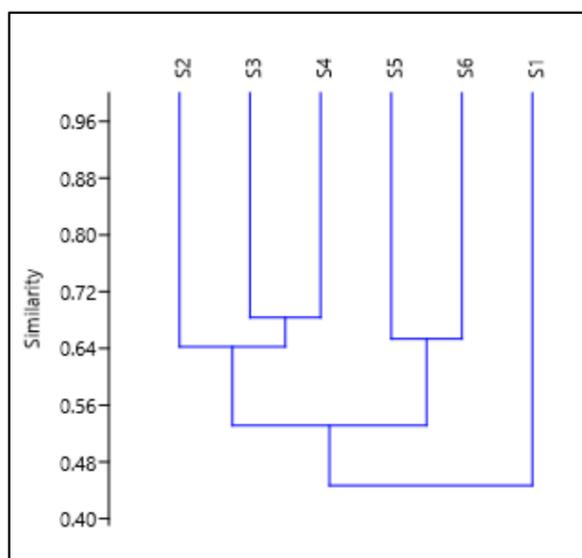


Figura 2: Dendrograma que muestra la similitud entre los sitios de muestreo en el río Amanalco, Estado de México, México.

REFERENCIAS

- _____. En prensa-b. Estrategia Regional de manejo del Territorio, CCMSS. En: Forcada, E. (2017). La gestión del agua superficial en la subcuenca del río Amanalco. Trabajo de graduación de maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 129 pp.
- Álvarez-Arango, L. (2005). Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Colombia. 263 pp.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Zinder B. D. y Stribling, J. B. (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. 2ª. EPA 841-B41-99-002. Office of water. Wahsington, D. C. En: Pérez-Munguía, R., Durán-Suárez, S., Molina-León, I., Pjeda-Castillo, R. y Sánchez-Ríos, S. (2019). Composición y estructura de las comunidades de insectos acuáticos en la cuenca del río Purungueo. *Entomología mexicana*, 6: 421-427.
- Castillo, L., Martínez, E., Rupert, C., Savage, C., Gilek, M., Pinnock, M. y E. Solis. (2006). Water quality and macroinvertebrate community response following pesticide applications in a banana plantation, Limon, Costa Rica. *Science of the Total Environment*. 15 p. En: Rosas-Acevedo, J. L., Ávila- Pérez, H., Sánchez-Infante, A., Rosas-Acevedo, A. Y., García-Ibañez, S., Sampedro-Rosas, L., Granados-Ramírez, J. G. y Juárez-López, A. L. (2014). Índice BMWP, FBI y EPT para determinar la calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. ISSN 2334-2501. 81-88.
- Comisión de Cuenca Valle de Bravo-Amanalco (CCBVA). (2011). Comisión de Cuenca Valle de Bravo-Amanalco: Ocho años de gestión y sustentabilidad hídrica. Ed. CCVB. México. En: Forcada, E. (2017). La gestión del agua superficial en la subcuenca del río Amanalco. Trabajo de graduación de maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 129 pp.
- Correa, I. (2000). Desarrollo de un índice biótico para evaluar la calidad ecológica del agua en los ríos de la cuenca alta del río Chama utilizando macroinvertebrados béticos. Universidad de los Andes. Venezuela. 62 pp.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México. Pp. 68-87.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2001). NMX-AA-012-SCFI-2001: Determinación de Oxígeno Disuelto, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 15 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2001). NMX-AA-029-SCFI-2001: Determinación de Fósforo Total, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 21 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2001). NMX-AA-036-SCFI-2001: Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 22 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2001). NMX-AA-079-SCFI-2001: Determinación de Nitratos, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 27 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2009). NMX-AA-093-SCFI-2009: Determinación de la conductividad eléctrica-Método de prueba. México. 26 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2012). NMX-AA-030/1-SCFI-2012: Determinación de la Demanda Química de Oxígeno, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 18 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2014). NMX-AA-074-SCFI-2014: Medición del ión Sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 13 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2016). VNMX-AA-008-SCFI-2016: Medición del pH, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 21 p.
- Eastman, J. R. (2016). TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling Software. Clark Labs, Worcester, MA. (The TerrSet Manual is provided as PDF document with the software).
- Flowers, R.W. y De la Rosa, C. (2010). Ephemeroptera. *Revista Biológica Tropical. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 58 (Suppl. 4):63-93.*
- Gutiérrez-Fonseca, P. E., Ramírez, A. y Alonso-Rodríguez, A. (2010). Guía fotográfica de macroinvertebrados acuáticos de Puerto Rico. ResearchGate. Puerto Rico. 3 p.

Gutiérrez-Fonseca, P. E., Ramírez, A. y Alonso-Rodríguez, A. (2016). Guía fotográfica de macroinvertebrados acuáticos de Puerto Rico. ResearchGate. Puerto Rico. 3 p.

Hellawell, J. m. (1978). Biological surveillance of rivers. Water Research Center Stevenage, 322 pág. En: Naranjo-López, Juan Carlos, & López-del Castillo, Pedro (2013). BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY, UN ÍNDICE BIÓTICO CON POTENCIALIDADES PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN RÍOS CUBANOS. Ciencia en su PC, (2),15-25. [fecha de Consulta 27 de enero de 2021]. ISSN: 1027-2887. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1813/181328708003>
<https://www.portalprogramas.com/past/>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA). (2012). Plan estratégico para la recuperación ambiental de la cuenca Amanalco-Valle de Bravo: Actualización. México. 210 pág.

López-Delgado, E.O., Vásquez-Ramos, J.M. y Reinoso-Flores, G. (2015). Listado taxonómico de los tricópteros inmaduros del Departamento del Tolima. Ciencias Naturales. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 39(150): 42-49.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2012). Guía para la evaluación de la Calidad acuática mediante el índice BMWP/Bol. Versión I. Estado Plurinacional de Bolivia. 85 pág.

Muñoz-Riveaux, S., Naranjo-López, C., Garcés-González, G., González, D., Musle-Cordero, Y. y Rodríguez, L. (2003). Evaluación de la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(2). Cuba. pp.: 147-153.

Naranjo-López, Juan Carlos, & López-del Castillo, Pedro (2013). Biological monitoring working party, un índice biótico con potencialidades para evaluar la calidad de las aguas en ríos cubanos. Ciencia en su PC, (2),15-25. [fecha de Consulta 27 de enero de 2021]. ISSN: 1027-2887. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1813/181328708003>

Pineda, R., Pérez, R., Mathuriau, C., Villalobos, J. L., Barba, R., Bernal, T., Barba, E., Salinas, S. A. (2014). Protocolo de muestreo de macroinvertebrados en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012). Programa Nacional de Reservas de Agua. México. 47 pág.

Posada-García, J. A. y Roldán-Pérez, G. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-occidente de Colombia. *Caldasia* 25(1) 2003:169-192.

Ramírez, A. (a) (2010). Capítulo 2: Métodos de recolección. *Revista de Biología Tropical*, 58 (Suppl. 4), 41-50. Retrieved October 12, 2020, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800002&lng=en&tlng=es.

Ramírez, A. (b) (2010). Odonata. *Revista Biológica Tropical. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 58 (Suppl. 4):97-136.*

Roldán, G. (1996). Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía. Presencia Ltda. Colciencias. Universidad de Antioquía. Colombia. 226 pág.

Roldan, G. (2012). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. Corporación Autónoma Regional de Cundamarca. ISBN: 978-958-8188-19-5. Colombia. 148 pág.

Rosas-Acevedo, J. L., Ávila- Pérez, H., Sánchez-Infante, A., Rosas-Acevedo, A. Y., García-Ibañez, S., Sampedro-Rosas, L., Granados-Ramírez, J. G. y Juárez-López, A. L. (2014). Índice BMWP, FBI y EPT para determinar la calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. ISSN 2334-2501. 81-88.

Springer, M. (2010). Trichoptera. *Revista Biológica Tropical. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 58 (Suppl. 4):151-198.*