



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD  
DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**“Diversidad y Grupos Funcionales Alimenticios de  
los Macroinvertebrados Dulceacuícolas del río  
*Agua Salada* en la microcuenca *Coaxitlán*, Morelos-  
Guerrero”**

**Tesis para obtener el grado de  
Licenciado en biología**

**Presenta:**

**Jennifer Rojas Navarro**

**Director de tesis**

**Biól. Juan Carlos Sandoval Manrique**

## AGRADECIMIENTOS

**M. en C. Migdalia Díaz Vargas.** Profesora de Tiempo Completo del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), por la revisión del manuscrito de tesis.

**Biól. Jennifer Ivonne Bobadilla Martínez.** Profesora de la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), por su evaluación durante los seminarios de investigación y revisión del manuscrito de tesis.

**Biól. Sara Gutiérrez García.** Profesor de la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), por la revisión del manuscrito de tesis.

**Biól. Juan Alberto Hernández Arias.** Profesor de la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), por la revisión del manuscrito de tesis.

**Dra. Patricia Trujillo Jiménez.** Profesora de Tiempo Completo del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), por su evaluación durante los seminarios de investigación, revisión del manuscrito de tesis y asesoría en el manejo y análisis de datos.

**Biól. Juan Carlos Sandoval Manrique.** Profesor de Tiempo Completo de la Escuela de Turismo de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), por la dirección de este proyecto de investigación.

## DEDICATORIA

Gracias a la vida por dejarme llegar a esta etapa tan importante de mi vida profesional y también a las personas que me apoyaron, algunas que me acompañaron al inicio del camino y otras que llegaron a lo largo del camino.

A mi padre y madre por los regaños, la confianza, el cariño y el esfuerzo que hicieron para que pudiera acabar mis estudios ya que sin ellos esto no hubiera sido posible, ya que son parte fundamental de mi vida

A Charly por transmitirme sus conocimientos, por la confianza, paciencia y motivación para seguir adelante con la finalización de mi tesis a pesar de todas las circunstancias que pasamos, video llamadas para avanzar en el proyecto, pandemias entre otras circunstancias lo logramos.

A Leticia Uribe que siempre me dio los ánimos, regaños, palabras de aliento y su apoyo en los momentos buenos y en los malos que pase, su cariño y apoyo me ayudo a seguir adelante y no rendirme ante ningún tipo de circunstancia.

A mis amigos Mary, Luis, Mabel, Isaac, Jaqueline que fueron mis amigos reales que estuvieron en las buenas y en las malas conmigo y me acompañaron a lo largo de mi trayecto, gracias por el cariño y espero sigamos teniendo los mismos valores de esta amistad.

A Fernando, gracias por siempre escucharme, apoyarme y darme consejos en mis momentos más difíciles he aprendido mucho de ti en tan poco tiempo. tu valentía, esfuerzo dedicación eres una persona que admiro mucho por ser una de las personas que me ha motivado para no rendirme, te agradezco por todo el cariño y momentos felices que me has hecho pasar mi rayito MCQN.

Gracias a una de mis grandes amigas Alexis, esta persona que en tan poco tiempo tuvo mi confianza y cariño incondicional, te agradezco que siempre pueda contar contigo en los buenos y malos momentos.

Gracias a Alan Antonio, que, a pesar de los malos momentos, siempre me quedare con los muy buenos, donde siempre estuviste tomando mi mano para seguir adelante sin dejarme caer, crecimos juntos en esta etapa de nuestras vidas pasando los mejores momentos de aprendizaje, amor, amistad, valentía entre otros.

## RESUMEN

Los *macroinvertebrados* (MID) son el principal componente de la biomasa de los ríos y forman parte importante del flujo energético y las redes tróficas, siendo alimento para organismos terrestres y acuáticos, como peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Por su diversidad, son clave en la estructura y conservación de estos ecosistemas, pero también en el funcionamiento de estos; esta aseveración está en función de su presencia a lo largo de la trayectoria de un río colonizando múltiples microhábitats y de los variados hábitos alimenticios que presentan. Con su forma de alimentación participan activamente en el proceso de transformación de la energía y ciclos de nutrientes en donde consumen y fragmentan la materia orgánica. Estos aspectos biológicos y ecológicos integran un concepto denominado *Grupos Funcionales Alimenticios* (GFA's), en donde los MID son clasificados en: *i*) Carnívoros que incluye a los depredadores, parasitoides y parásitos; *ii*) Herbívoros como fragmentadores o desmenuzadores, filtradores y raspadores, y *iii*) Detritívoros o colectores con organismos de hábitos fragmentadores o desmenuzadores, filtradores y recogedores o recolectores.

El objetivo general de este trabajo fue el de analizar la diversidad y los GFA's de los MID para proponer un modelo ecológico que describa el estado trófico y funcional del río *Agua Salada* en la microcuenca *Coaxitlán* limítrofe del estado de Morelos y Guerrero. Este proyecto se desarrolló con el análisis de los registros históricos de tres tesis de la Licenciatura en Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), dos de ellas concluidas, y otra, en proceso terminal que forman parte del proyecto general "La diversidad de macroinvertebrados dulceacuícolas y su uso como bioindicadores de la calidad del agua, calidad del hábitat acuático y del hábitat de ribera en la microcuenca Coaxitlán, Morelos-Guerrero". Con estos registros históricos, se analizaron también los parámetros de la riqueza, la abundancia y de los GFA's, en un período de tiempo comprendido de cuatro años de muestreo -de 2014 al 2018-, con un total de 32 muestreos biológicos en ocho con cinco hábitats distintos en el río *Agua Salada*, considerando para su análisis la escala espacial de las tres zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán*. Para la construcción del modelo gráfico se utilizó como referencia el River Continuum Concept que es el modelo más conocido para ecosistemas fluviales, donde se describe a la comunidad acuática con base a los cambios longitudinales provocados por las distintas fuentes de energía alóctonas y autóctonas.

Con la compilación de los registros históricos de los MID, Alcocer (2016) fue quien registró el mayor número de taxones con 82, seguidas de Gómez (2018) con 66 y Fernández (sin publicar) con 47 y sumando un total 130 para la microcuenca *Coaxitlán*. Estos taxones estuvieron comprendidos en cinco clases, 18 órdenes, un suborden, 64 familias, 99 géneros, 113 especies y un total de 130 taxones, siendo la clase Insecta la de mayor número de registros con 120 especies, seguidas de Crustacea y Gasteropoda con cuatro para cada una y de Arachnida y Oligoqueta con una respectivamente. La descripción de esta sucesión de los GFA's, permitió caracterizar al río *Agua Salada* como un ecosistema heterotrófico, donde continuamente recibe aportación de materia orgánica proveniente de la selva baja caducifolia, introduciendo restos vegetales como hojas, ramas, troncos y frutos, que viajan, se depositan y se descomponen a lo largo de su recorrido hasta el río Amacuzac.

# ÍNDICE TEMÁTICO

	Página
<b>RESUMEN</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	3
2.1 ¿Qué es un río?	3
2.2 El estudio de los MID en sistemas fluviales	4
2.3 El modelo del <i>río continuo</i> y los Grupos Funcionales Alimenticios (GFA's)	5
<b>3. ANTECEDENTES</b>	9
3.1 México	9
3.2 Estado de Morelos	9
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b>	11
<b>5. OBJETIVOS</b>	12
5.1 Objetivo general	12
5.2 Objetivos particulares	12
<b>6. ÁREA DE ESTUDIO</b>	12
6.1 Localización geográfica del estado de Morelos	12
6.2 Ubicación geográfica de la microcuenca Coaxitlán	13
6.3 Hidrogeomorfología	14
6.4 Clima	15
6.5 Estatus de la vegetación y actividades antrópicas	15
<b>7. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	16
7.1 Uso de las referencias históricas para la elaboración del listado de especies de MID	16
7.2 Selección de estaciones de muestreo	17
7.3 La colecta de los MID	18
7.4 Análisis de la estructura de la comunidad de los MID	23
7.4.1 Riqueza específica	23
7.4.2 Abundancia	23
7.4.3 Diversidad	23
7.4.4 Diversidad alfa	23
7.4.5 Diversidad beta	23
7.4.6 Coeficiente de similitud de Sørensen (Czekanovski-Dice-Sørensen)	24
7.5 Análisis espacial y temporal de los GFA's	24
7.6 Elaborar un modelo gráfico y descriptivo de los GFA's de los MID	25

	Página
<b>8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	25
8.1 La riqueza de taxones de los MID	25
8.2 Variación espacial de la riqueza específica	29
8.3 Variación espacial de la abundancia relativa	31
8.4 Variación temporal de la abundancia relativa	32
8.5 Variación espacial y temporal de la diversidad	33
8.6 Variación de la diversidad alfa	35
8.7 Diversidad beta	35
8.8 Grupos Funcionales Alimenticios	36
8.9 Variación espacio-temporal y por tipo de hábitat acuático de los GFA's	39
8.10 Propuesta de un modelo gráfico y descriptivo de los GFA's de los MID de acuerdo con las zonas funcionales de la microcuenca <i>Coaxitlán</i>	47
<b>9. CONCLUSIONES</b>	49
<b>10. LITERATURA CITADA</b>	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Modelo del <i> río continuo</i> propuesto por Vannote <i> et al.</i> , (1980), en donde se muestra desde la cabecera de los ríos grandes hasta su planicie,0 el carácter heterotrófico en relación con los GFA's, Productividad Fotosintética (P) y Respiración (R).	6
Figura 2. Los niveles tróficos y los grupos funcionales de los MID con base a la ingesta y mecanismos de alimentación propuesto por Cummins <i> et al.</i> , (2008).	8
Figura 3. Ubicación geográfica de la microcuenca <i> Coaxitlán</i> en la Cuenca del Balsas, Región Hidrológica 18 (RH18), tomado de Luna (2017).	13
Figura 4. Vista panorámica de la Estación 1 (E1), hábitat río temporal <i> La Huixilera</i> que se forma de escurrimientos durante la época de lluvias, en la zona de la cabecera o parte alta de la microcuenca de <i> Coaxitlán</i> .	19
Figura 5. Vista panorámica de la Estación 2 (E2), hábitat río intermitente <i> Agua Salada</i> durante la época de secas, en la zona de captación y transporte o parte media de la microcuenca de <i> Coaxitlán</i> .	19
Figura 6. Vista panorámica de la Estación 3 (E3), hábitat río intermitente <i> Agua Salada</i> durante la época de secas, en la zona de captación y transporte o parte media de la microcuenca de <i> Coaxitlán</i> .	20
Figura 7. Vista panorámica de la Estación 4 (E4), hábitat río perenne <i> Agua Salada</i> a partir del Manantial <i> Poza Azul</i> durante la época de secas, en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca de <i> Coaxitlán</i> .	20
Figura 8. Vista panorámica de la Estación 5 (E5), hábitat río perenne <i> Agua Salada</i> durante la época de secas, en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca de <i> Coaxitlán</i> .	21
Figura 9. Vista panorámica de la Estación 6 (E6), hábitat río perenne <i> Agua Salada</i> durante la época de secas, en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca de <i> Coaxitlán</i> .	21
Figura 10. Vista panorámica de la Estación 7 (E7), hábitat río perenne <i> Agua Salada</i> cercano a la desembocadura del río Amacuzac durante la época de secas, en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca de <i> Coaxitlán</i> .	22
Figura 11. Vista panorámica de la Estación 8 (E8), hábitat río perenne <i> Agua Salada</i> cercano a la desembocadura del río Amacuzac durante la época de secas, en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca de <i> Coaxitlán</i> .	22

	Página
Figura 12. Variaciones de la riqueza específica de los MID por estaciones de muestreo y por zonas funcionales de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	30
Figura 13. Variaciones de la abundancia de los MID por temporalidad en la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	33
Figura 14. Variación espacial y temporal de la diversidad de los MID por estaciones de muestreo y por zonas funcionales de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	34
Figura 15. Variación espacial y temporal de la diversidad alfa de los MID por estaciones de muestreo y por zonas funcionales de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	35
Figura 16. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en la Estación (E1), hábitat río temporal La Huixilera en la zona de la cabecera o parte alta de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	40
Figura 17. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en las estaciones 2 y 3 (E2 y E3), hábitat río intermitente <i>Agua Salada</i> en la zona de captación y transporte o parte media de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	41
Figura 18. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en la estación 4 (E4), hábitat río perenne <i>Agua Salada</i> , a partir del manantial <i>Poza Azul</i> en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	41
Figura 19. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en la estación 5 (E5), hábitat río perenne <i>Agua Salada</i> , en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	42
Figura 20. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en la estación 6 (E6), hábitat río perenne <i>Agua Salada</i> , en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	43
Figura 21. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en la estación 7 (E7), hábitat río perenne <i>Agua Salada</i> , cercano a la desembocadura del río Amacuzac en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	43
Figura 22. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en la estación 8 (E8), hábitat río perenne <i>Agua Salada</i> , cercano a la desembocadura del río Amacuzac en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	44
Figura 23. Propuesta gráfica y descriptiva de las variaciones de los GFA's de los MID de acuerdo con las zonas funcionales de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	48

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Referencias históricas de los MID del río <i>Agua Salada</i> y su distribución por estaciones, hábitats y zonas funcionales de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	16
Cuadro 2. Niveles tróficos, GFA's propuestos por varios autores y abreviaciones utilizadas en este proyecto de investigación.	24
Cuadro 3. Los taxones registrados de MID de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> , según referencias históricas.	26
Cuadro 4. Resumen taxonómico y número de taxones de MID registrados en la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	29
Cuadro 5. Número de especies de MID en ecosistemas fluviales del estado de Morelos de acuerdo con las referencias históricas. *Referencias que solo reportan especies de insectos acuáticos.	29
Cuadro 6. Diagnóstico de la calidad del hábitat acuático en cada una de las estaciones de muestreo y zonas funcionales de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> de acuerdo con el protocolo de la Environmental Protection Agency (2001), según referencias históricas.	31
Cuadro 7. Cambios en los principales tipos de sustrato en cada una de las estaciones de muestreo y zonas funcionales de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> según referencias históricas.	32
Cuadro 8. Valores obtenidos de la diversidad beta al comparar las zonas funcionales de la microcuenca <i>Coaxitlán</i> en donde se muestran principalmente la similitud de la composición de los MID en la parte baja del río <i>Agua Salada</i> .	36
Cuadro 9. Los Grupos Funcionales Alimenticios de los MID en la microcuenca <i>Coaxitlán</i> .	37
Cuadro 10. Número de especies y GFA's dominantes en varios tipos de hábitats acuáticos en el estado de Morelos, según referencias históricas.	44

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de agua dulce –clasificados en sistemas lóticos y lénticos– son uno de los recursos naturales más importantes para la vida, y en ellos, se puede encontrar una gran diversidad y abundancia de organismos entre los que destacan los animales invertebrados, que para su estudio se reconocen como *macroinvertebrados* dado que pueden ser observados a simple vista sobrepasando 0.5 mm de longitud (Carrera y Fierro, 2001 y Walteros y Castaño, 2020).

Son ejemplos los ácaros, celenterados, crustáceos, hirudíneos, insectos acuáticos, moluscos, nemátodos, oligoquetos, platelmintos y poríferos, entre otros. Algunos grupos de *macroinvertebrados dulceacuícolas* (MID) pueden pasar completamente su ciclo de vida en el ambiente acuático, o bien, ser dependientes solamente una parte de él, de esta manera, se les puede encontrar en distintas etapas de desarrollo, ya sea en estados inmaduro como huevos, larvas o ninfas, o en estado adulto para llegar a ser formas voladoras y terrestres como en el caso de algunos grupos de insectos acuáticos (Cummins, 1975 y Romero-Figueroa *et al.*, 2023).

Estos organismos se encuentran ocupando todos los estratos de la columna de agua, los hay con hábitos planctónicos, neustónicos, nectónicos y bénticos, destacándose estos últimos, como aquellos que están asociados al fondo, ya sea enterrados en el fango, en la arena y/o sobre rocas, troncos y plantas acuáticas. Se consideran de gran éxito biológico por su alta variedad de adaptaciones morfológicas, fisiológicas y de comportamiento para adaptarse y aprovechar los distintos recursos en un ecosistema fluvial (Grimaldo, 2004 y De Souza y Aguilar, 2022).

En los ríos, los MID se ven sometidos constantemente a la presión de la velocidad de la corriente –que es una de las variables más influyentes en sus ciclos biológicos–sin embargo, pueden manejar el transporte y arrastre de la corriente regulando sus poblacionales en base al proceso de deriva o migración con alternativas de: *i*) remontar el río por parte de las hembras adultas voladoras para depositar los huevos en el agua; *ii*) contar con tasas elevadas de reproducción que compensen las pérdidas de individuos; *iii*) realizar migraciones hacia las orillas o río abajo, y *iv*) contar con adaptaciones morfológicas que les permitan resistir el arrastre del agua (Hanson *et al.*, 2010 y Díaz *et al.*, 2020).

Son el principal componente de la biomasa de los ríos y forman parte importante del flujo energético y las redes tróficas, siendo alimento para organismos terrestres y acuáticos, como peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Reese, 2002). Por su diversidad, son clave en la estructura y conservación de estos ecosistemas, pero también en el funcionamiento de estos; esta aseveración está en función de su presencia a lo largo de un río colonizando múltiples microhábitats y de los variados hábitos alimenticios que presentan (Jacobsen *et al.*, 2008; Roldán, 2012 y Gutiérrez-López *et al.*, 2016).

Con su forma de alimentación participan activamente en el proceso de transformación de la energía y ciclos de nutrientes en donde consumen y fragmentan la materia orgánica (Rodríguez-Capitulo *et al.*, 2009). Estos aspectos biológicos y ecológicos integran un concepto denominado *Grupos Funcionales Alimenticios* (GFA's), en donde los MID son clasificados en: *i*) Carnívoros que incluye a los depredadores, parasitoides y parásitos; *ii*) Herbívoros como fragmentadores o desmenuzadores, filtradores y raspadores, y *iii*) Detritívoros o colectores con organismos de hábitos fragmentadores o desmenuzadores, filtradores y recogedores o recolectores (Hanson *et al.*, 2010; Camara *et al.*, 2020 y Walteros y Castaño, 2020).

La gran diversidad y abundancia de los MID en los ríos –considerados como centros de alta biodiversidad y refugios de vida silvestre–, desde las cabeceras hasta las desembocaduras, dependen en gran medida de la integridad de las condiciones de su entorno (Sabater *et al.*, 2009), haciéndose indispensable estudiar estos aspectos ecológicos por las amenazas en los cambios en la composición química del agua, en la pérdida de la estructura de la vegetación ribereña, la erosión, la construcción de presas que disminuyen los caudales y la canalización de los ríos que afectan de manera global las cuencas hidrográficas (Sánchez, 2007 y Avilez, 2023).

De esta manera, parte del estudio de la ecología fluvial, se basa en conocer la distribución y composición de estos organismos en un perfil longitudinal, de tal forma, que cambios provocados principalmente por la contaminación orgánica e inorgánica y cambios en el uso del suelo, suelen modificar los atributos antes mencionados, indicando el nivel de estrés, la pérdida de la calidad del agua y de la calidad del hábitat (Ladrera *et al.*, 2013).

## 2. MARCO TEÓRICO

**2.1 ¿Qué es un río?** Los ríos son ecosistemas que se pueden estudiar desde el punto de vista geológico, biológico, ecológico y social. En este proyecto de investigación se utilizó el concepto ecológico debido a su enfoque y relación con los MID. De esta forma, los ríos son corrientes de agua que fluyen de forma continua, se forman por la acumulación de lluvia, del deshielo de las montañas o por la emergencia de aguas subterráneas, poseen un caudal que pocas veces es constante, de manera que pueden ser permanentes o intermitentes y estar secos parcial o completamente a lo largo de un año (Sabater *et al.*, 2009 y Rodrigues *et al.*, 2020).

Los ríos pueden desembocar en el mar, lagos o incluso en otros ríos. En su recorrido se distinguen tres partes; la *cabecera* como la parte inicial, el *talud* o parte media y la *planicie* o *desembocadura* en su parte final (Pozo y Elozegi, 2009). Dentro del cauce se reconocen las siguientes zonas: *i) Erosional*, donde la corriente se lleva o transporta las partículas; *ii) Depositional*, donde la corriente las deposita; *iii) Hiporreica*, en donde las aguas del río se mezclan con las aguas subterráneas; *iv) Madícola* o *higrópetrica*, en donde el agua fluye en una lámina delgada sobre las rocas, y *v) De salpicadura*, donde las rocas expuestas se mantienen mojadas (Elozegi *et al.*, 2009).

En la escala espacial de *cuenca* o *microcuenca*, los ríos presentan tres zonas funcionales, que se definen como unidades con una funcionalidad hidrológica, a continuación, se describen de acuerdo con Pozo y Elozegi (2009):

1) La *zona cabecera* o *parte alta*. Cubre los sistemas de montaña y lomeríos, en esta zona se asegura la captación inicial de agua formando escurrimientos y la vegetación funciona como reguladora de la cantidad y temporalidad del flujo de agua. Las áreas aledañas a esta zona son de gran importancia para el buen funcionamiento de la *microcuenca*, debido a que los procesos y acciones que se llevan a cabo en esa parte inevitablemente tendrán repercusiones en las partes bajas.

2) La *zona de captación y transporte* o *parte media*. Es una zona amplia en donde se capta la mayor parte del agua que entra a una *cuenca* o *microcuenca*. Transporta agua con minerales,

sedimentos, nutrientes y materia orgánica, y cuyas concentraciones cambian en función de las diferentes actividades que se llevan a cabo. Esta zona se caracteriza por ser de amortiguamiento en la parte alta y baja, y en donde generalmente, ocurren más actividades productivas.

3) La *zona de emisión o parte baja*. Es donde los cursos del agua son más caudalosos, y se reciben generalmente, los impactos que se generan en otras zonas de la *cuenca o microcuenca*.

**2.2 El estudio de los MID en sistemas fluviales.** Este grupo de organismos han sido utilizados ampliamente en la evaluación de la calidad del agua y de la calidad del hábitat, con el argumento de usarlos como bioindicadores en programas de monitoreo que ayuden a conocer la evolución y conservación de los ríos y en el manejo del uso del agua (Gamboa *et al.*, 2008).

Esta argumentación está basada en las siguientes características: *i*) presentan gran riqueza de especies; *ii*) amplia distribución geográfica; *iii*) gran capacidad de colonización a distintos microhábitats; *iv*) variedad de respuestas a gradientes ambientales y a la contaminación; *v*) en su mayoría son sedentarios; *vi*) sus ciclos de vida son relativamente cortos; *vii*) diversidad de grupos funcionales alimenticios, y *viii*) su taxonomía es bien conocida a nivel de familias y géneros. Estas características permiten su análisis para estimar los efectos y el impacto de las perturbaciones de los ríos a través del tiempo (Díaz, 1995; Pujante, 1997; Roldán, 1999; Mafla 2005, William, 2007 y Silva y Huamantínco, 2022).

La idea de utilizar a los MID como *especies monitoras* o *centinelas*, principalmente es por su sensibilidad a la contaminación orgánica e inorgánica; pero también porque varias familias y/o especies presentan formas de vida sésil o asociado al lecho de los ríos, ciclos de vida cortos con varias generaciones al año y no presentan migraciones rápidas, de esta manera, desaparecen o se extinguen localmente si las condiciones son desfavorables (Díaz, 1995, William, 2007 y Torres *et al.*, 2023).

Este grupo de organismos también son utilizados para la evaluación de la calidad del hábitat o estado ecológico, concepto que incluye un análisis biológico y ecológico más amplio considerando la calidad, estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, y con el cual,

diversos autores han ponderado su importancia por la gran diversidad que alcanzan en los ambientes de agua dulce (Johnson *et al.*, 1993; Rosenberg *et al.*, 2008; Springer, 2010; Encalada *et al.*, 2011; Ramírez y Gutiérrez-Fonseca, 2014; y Jost y Cultid-Medina, 2016).

Sin embargo, muchos han sido los esfuerzos por establecer metodologías que ayuden analizar los impactos y de alteración que sufren estos ecosistemas por efectos antrópicos, buscando afanosamente elaborar y modificar índices de integridad e índices bióticos para entender los cambios que ocurren a nivel de cuenca hidrológica (Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega, 1988; Segnini, 2003; Naranjo y González, 2007 y Fierro *et al.*, 2015).

**2.3 El modelo del río continuo y los Grupos Funcionales Alimenticios (GFA's).** Como se ha mencionado anteriormente, los MID son considerados parte fundamental en la funcionalidad, estructura y mantenimiento de los ecosistemas fluviales. El modelo del *río continuo* propuesto por Vannote *et al.*, (1980), ejemplifica la bioindicación de los MID al plantear varias etapas de sucesión de las comunidades acuáticas, es decir, se observan cambios de los distintos GFA's, desde la cabecera hasta desembocadura de un río, expresando el flujo energético a través de un perfil longitudinal (Figura 1).

Es preciso señalar que el alimento para este grupo de organismos se puede originar dentro del ecosistema acuático, es decir, del tipo *autóctono*, o bien, provenir desde el ecosistema terrestre, considerándose como *alóctono*. De esta manera, y de acuerdo con Cummins *et al.*, (2008) se reconocen tres categorías de niveles tróficos basados en la ingesta y sus GFA's, también con base a los mecanismos de alimentación (Figura 2).

1) Herbívoros: Se alimentan de plantas vasculares acuáticas o algas filamentosas que incluyen a los *i) Fragmentadores* o *desmenuzadores*, que toman pedazos grandes de tejido vegetal mayores a 1 mm, y pueden alimentarse tanto externa como internamente minando tallos u hojas, o alimentándose de raíces enterradas en los sedimentos; *ii) Filtradores* de partículas o de microalgas en suspensión que pueden ser seleccionadas con base a su tamaño y disponibilidad a través de cepillos bucales o redes de seda; y *iii) Raspadores*, que se alimentan de algas y microbios adheridos a las rocas u otros sustratos –perifiton–.

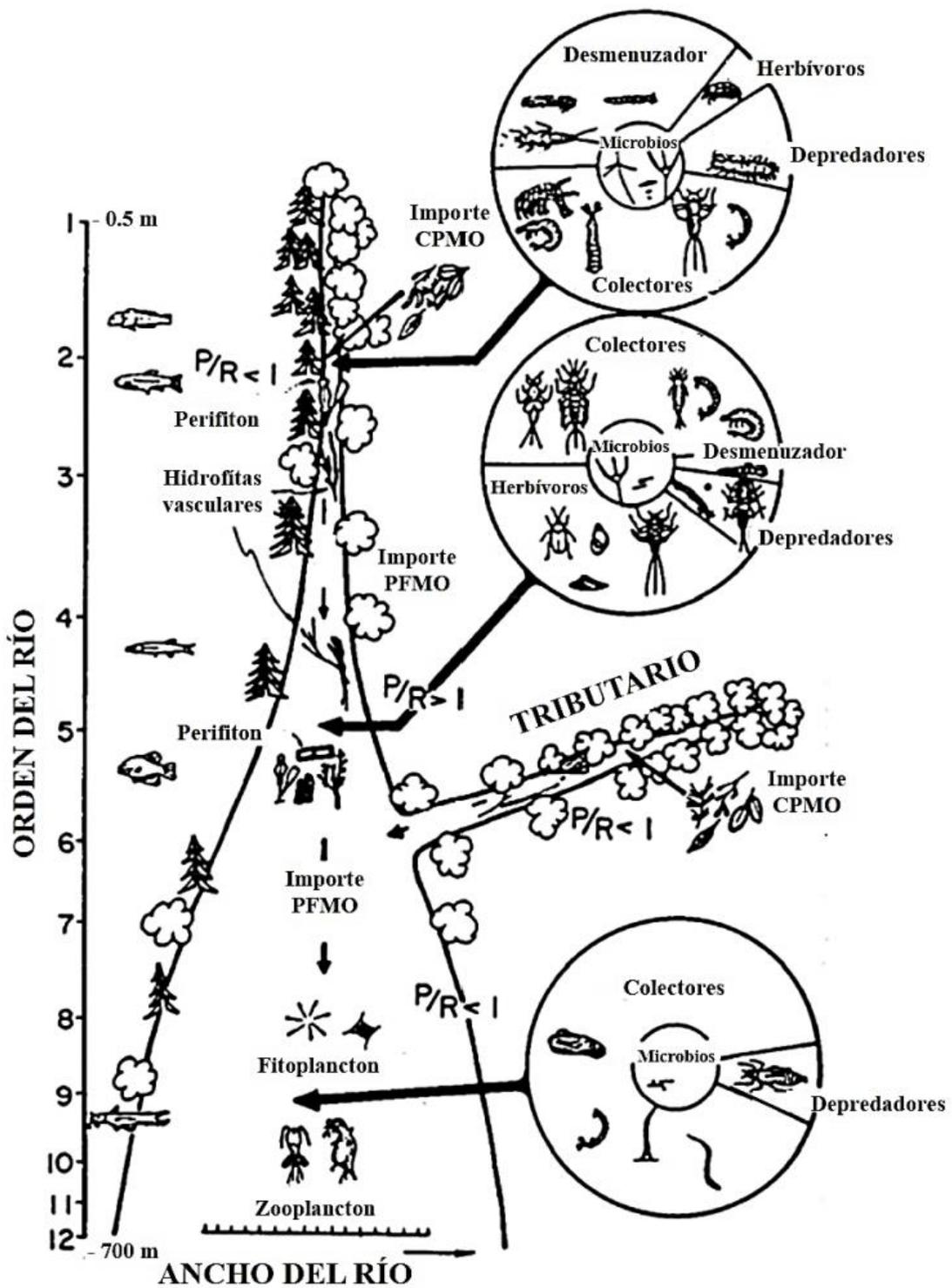


Figura 1. Modelo del río continuo propuesto por Vannote *et al.*, (1980), en donde se muestra desde la cabecera de los ríos grandes hasta su planicie, el carácter heterotrófico en relación con los GFA's, Productividad Fotosintética (P) y Respiración (R).

2) Carnívoros: Se alimentan de otros animales e incluyen a: *i) Depredadores*, quienes mastican a su presa o le inyectan enzimas y succionan su contenido. A menudo poseen adaptaciones morfológicas para capturar a las presas, por ejemplo, patas raptorales en hemípteros y el labio extensible en odonatos; *ii) Parasitoides*, que viven en una asociación íntima con un hospedero y a diferencia de un parásito, siempre lo matan. Este grupo es muy escaso en los ecosistemas acuáticos y son ejemplos algunos himenópteros; y *iii) Parásitos*, son organismos que viven en una asociación íntima con un hospedero, pero generalmente no lo matan.

3) Detritívoros: Se alimentan de *detritus* o materia orgánica muerta e incluyen los siguientes GFA's: *i) Fragmentadores* o *desmenuzadores*, que se alimentan de pedazos mayores a 1 mm de hojas en descomposición o fragmentos de madera, una dieta que incluye a muchos microorganismos –bacterias y hongos– que aumentan el valor nutricional de las hojas. Ellos convierten estos fragmentos en partículas más finas de materia orgánica; *ii) Filtradores*, incluye a los animales que utilizan estructuras especializadas del cuerpo como cepillos bucales, brochas de setas, branquias ciliadas, o bien, elaboran redes de seda, en ambos casos, funcionan como filtros para remover partículas finas menores de 1 mm. Comúnmente, estos organismos habitan en sitios de corriente fuerte que llevan una mayor cantidad de alimento, y son omnívoros, porque se alimentan de materia muerta y viva como el fitoplancton y zooplancton; *iii) Los Recogedores* o *recolectores*, que recogen partículas finas, menores de 1 mm, depositadas en el agua.

Es importante señalar, que las dos primeras categorías –herbívoros y carnívoros–, se alimentan de organismos vivos, y la tercera –detritívoros– de materia orgánica en descomposición o *detritus*. El comportamiento alimenticio puede cambiar a través del ciclo de vida de las especies y que algunas ingieren diversos tipos de alimentos y son considerados como *omnívoros*.

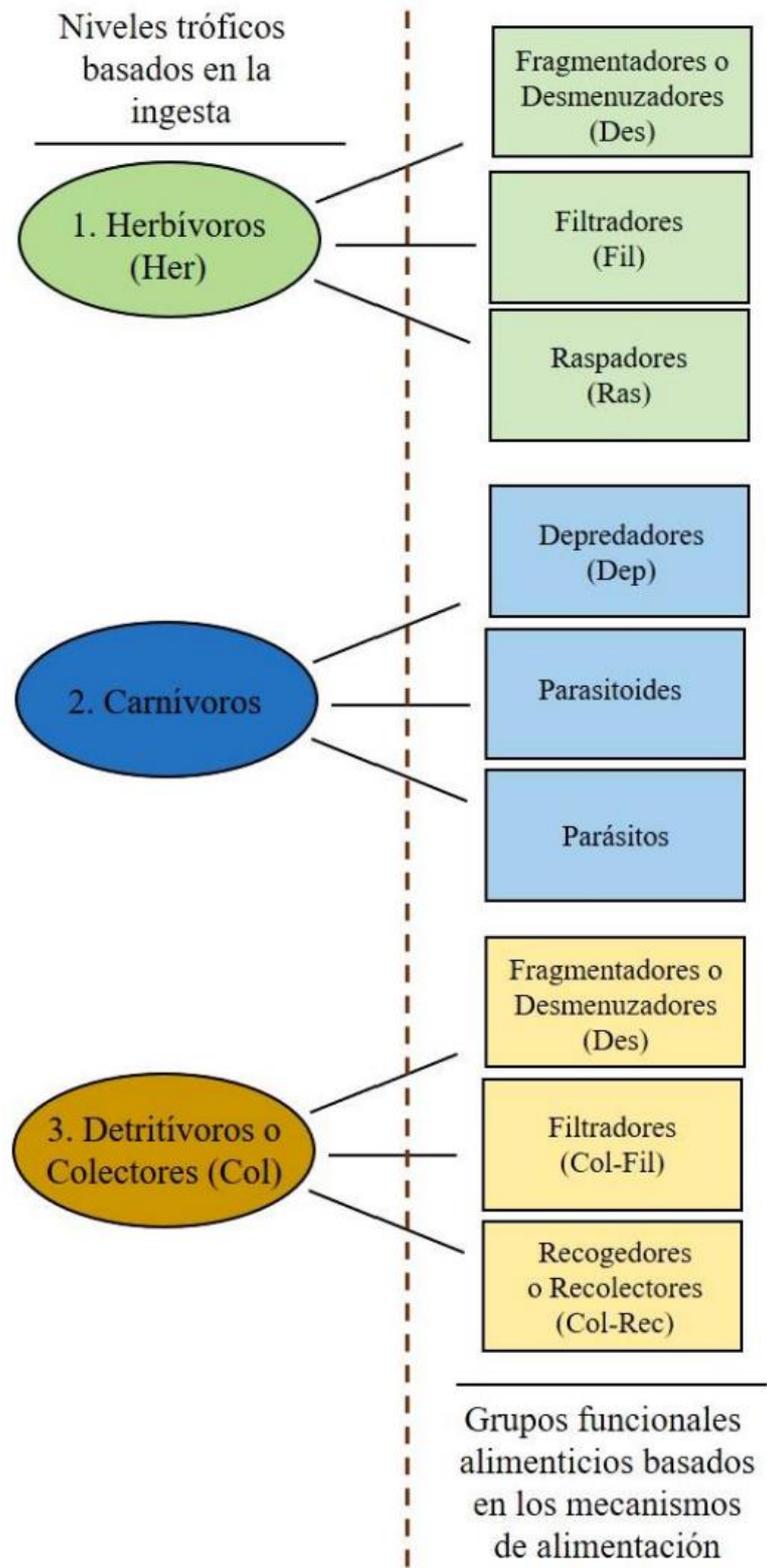


Figura 2. Los niveles tróficos y los grupos funcionales de los MID con base a la ingesta y mecanismos de alimentación propuesto por Cummins *et al.*, (2008).

### 3. ANTECEDENTES

**3.1 México.** En México el estudio sobre los MID han sido enfocados a través de su uso en índices bióticos para hacer evaluaciones rápidas de la calidad del agua, teniéndose que hacer las adecuaciones necesarias de estas metodologías –que son básicamente tomadas de otros países– para las condiciones naturales y tipo de macrofauna dulceacuícola de nuestro país (Wilhm y Dorris, 1968; Cairns y Dickson, 1971; Wilhm, 1975; Hilsenhoff, 1988; Hawkes, 1978; Khan, 1983; Armitage *et al.*, 1983; Washington, 1984; Barbout *et al.*, 1996; Prat *et al.*, 1997; Baker y Sharp, 1998; Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega, 1988; Barbout *et al.*, 1999; Acosta *et al.*, 2009 y Encalada *et al.*, 2011).

Las investigaciones están también orientadas hacia aspectos taxonómicos con registros de nuevas especies y listados faunísticos locales (Bueno y López, 1975; Bueno-Soria *et al.*, 1981; Orozco-Hernández *et al.*, 1992; Maldonado-Cruz *et al.*, 2000; Saldaña *et al.*, 2001; Juárez e Ibáñez, 2003; Pérez y Pineda, 2005; Hurtado *et al.*, 2005; García, 2007; Peralta *et al.*, 2007; Campos-Cervantes *et al.*, 2007; Mathuriau *et al.*, 2011; Barba-Álvarez *et al.*, 2013 y Rosas-Acevedo *et al.*, 2014), siendo realmente escasos o con información dispersa los trabajos que ayuden a tener una mejor comprensión del funcionamiento ecológico de los ríos a través de sus GFA's.

Sin embargo, destaca la edición especial de la *Revista de Biología Tropical* que en conjunto con el *International Journal of Tropical Biology and Conservation* dedicaron un número a los MID de Latinoamérica, sobresaliendo para nuestro país, los de Piñón *et al.*, (2014); Rico-Sánchez *et al.*, (2014) y Torres-García *et al.*, (2014). Finalmente, en la obra de Alonso-EguíaLis *et al.*, (2014), realizaron una recopilación sobre los trabajos de MID en el capítulo México de la obra: “*Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico*”, en donde enfatizan su importancia para establecer bases normativas para su uso en estudios de evaluación ambiental.

**3.2 Estado de Morelos.** En el estado existen investigaciones sobre los MID, principalmente hacia la ecología y la bioindicación en los ríos Amacuzac, Cuautla, Yautepec y Apatlaco, en charcas temporales de la selva seca y en los lagos volcánicos del Parque Nacional Lagunas de

Zempoala. A continuación, se mencionan los autores de estos estudios de manera cronológica: Bueno *et al.*, (1981); Mundo (1985); García (1985); Márquez (1986); Huerto (1988); García (1991); García (1996); Sandoval *et al.*, (2001); Santiago-Fragoso y Sandoval-Manrique (2001); Trujillo *et al.*, (2002); Rio (2002); Sánchez (2005); Sandoval-Manrique *et al.*, (2012); Flores (2013); Hernández (2013); Ochoa (2015); Ruiz-Picos *et al.*, (2016); Hernández (2017); Gómez (2018) y Gallegos (2021).

Cabe destacar las investigaciones de Montes (2003) y Benítez (2006), quienes realizaron un análisis de GFA's en ecosistemas fluviales del estado de Morelos. En el primer trabajo se concluyó que el río Amacuzac presentaba un carácter heterotrófico debido al fuerte y constante aporte de material orgánico alóctono; y en la segunda, que los GFA's del arroyo de montaña *Las Trancas* en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, presentaron una dependencia del material orgánico proveniente del bosque de pino-encino y de la estructura física del mismo.

Las investigaciones de Brug (2005) y Gutiérrez (2006), fueron enfocadas a realizar un análisis de GFA's en los lagos volcánicos del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, la primera en el lago Tonatiahua, concluyendo que la dominancia de los organismos desmenuzadores y colectores-recolectores se debió al aprovechamiento continuo del material vegetal vivo o en descomposición que abunda en la zona litoral de este lago; y en la segunda, realizada en el lago Zempoala, las especies dominantes fueron los crustáceos *Hyallega azteca* y *Cambarellus zempoalensis*, quienes en la zona litoral, aprovecharon el material vegetal para su alimentación durante todo el año.

En el trabajo de Bobadilla (2015), se analizaron los GFA's del arroyo intermitente *Quilamula*, y se encontró que el grupo alimenticio dominante fue el de los depredadores, y Alcocer, (2016); encontró que los GFA's tuvieron variaciones espaciales y temporales en cada uno de los microhábitats de esa zona, estableciéndose una heterogeneidad en la distribución de las especies del manantial *Poza Azul* en el río *Agua Salada*, ambos ecosistemas ubicados en la selva seca del estado de Morelos.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

En este proyecto de investigación se planteó la justificación con base a los siguientes argumentos:

i) Dado la escasez de este tipo de trabajos de investigación en nuestro país y en el estado de Morelos, con la generación del conocimiento de los GFA's de los MID se pretende contribuir con el análisis de los aspectos funcionales del río *Agua Salada* de la microcuenca *Coaxitlán*, ubicada en el área natural protegida de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla ubicada en la Región Hidrológica de la Cuenca del río Balsas, que de acuerdo a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), ha sido una zona prioritaria de estudio dado los impactos en el cambio de usos de suelo y contaminación del agua por origen orgánico e inorgánico (Arriaga *et al.*, 2002).

ii) Con reconocimiento del marco físico, es decir, de la zonificación de la microcuenca *Coaxitlán*, con relación a los aspectos ecológicos del río *Agua Salada*, como diversidad de microhábitats, riqueza, abundancia y GFA'S de los MID, ayudarán en el estudio, análisis y comprensión de la estructura, funcionalidad y calidad del hábitat de este ecosistema fluvial y de otros más en el estado de Morelos.

iii) La aportación de este conocimiento biológico y ecológico reforzará el planteamiento de proponer al río *Agua Salada* como un sitio ecológico de referencia, debido a que se suma al conocimiento de otros estudios paralelos en la misma zona, que refieren a la calidad del hábitat acuático, calidad del hábitat de ribera, calidad del agua y de las características geohidromorfológicas y paisajísticas del área. La propuesta de un sitio ecológico de referencia permitiría realizar comparaciones futuras con otras zonas de interés ecológico y de conservación de los ecosistemas fluviales del estado de Morelos.

iv) El análisis de los GFA's de los MID deberá ser una metodología alterna que aporte fundamentos para la precisión de la evaluación de la calidad del hábitat acuático y en el diagnóstico del estado de salud de los ecosistemas fluviales de la selva seca del estado de Morelos, dado al alto grado

de vulnerabilidad y deterioro en que actualmente se encuentran. De esta forma, se plantearon los siguientes:

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Analizar la diversidad y los GFA's de los MID para proponer un modelo ecológico que describa el estado trófico y funcional del río *Agua Salada* en la microcuenca *Coaxitlán* limítrofe del estado de Morelos y Guerrero.

### **5.2 Objetivos particulares**

5.2.1 Realizar un listado de las especies de los MID del río *Agua Salada*.

5.2.2 Analizar la estructura de la comunidad en función de la riqueza, abundancia y diversidad de los MID.

5.2.3 Analizar espacial y temporalmente los GFA's de los MID.

5.2.4 Elaborar un modelo gráfico y descriptivo de los GFA's de los MID de acuerdo con las zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán*.

## **6. ÁREA DE ESTUDIO**

**6.1 Localización geográfica del estado de Morelos.** El estado de Morelos es una de las entidades más pequeñas de México con una superficie de 4,990 km<sup>2</sup> que representa el 0.25 % de la superficie total del país y forma parte la región central, ubicándose en la provincia del sistema volcánico transversal en la vertiente que se enlaza con la depresión del río Balsas. Colinda al Norte con la Ciudad de México y el Estado de México; al Sur con los estados de Puebla y Guerrero; al Oeste con el Estado de México y Guerrero y al Este con el estado de Puebla. Se encuentra entre los paralelos 19°22'06" y 19°07'10" de latitud Norte y los meridianos 98°38'14" y 99°30'08" de longitud Oeste (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011).

**6.2 Ubicación geográfica de la microcuenca Coaxitlán.** Se ubica entre los límites de los municipios de Tlaquiltenango y Puente de Ixtla en el estado de Morelos y de Huitzaco de los Figueroa en el estado de Guerrero, con una superficie de 4575.17 ha y sus coordenadas extremas en unidades UTM son: 2043848.4950 N, 2033371.2776 S, 485259.7078 E y 475773.7769 O (Luna, 2017) (Figura 3). Pertenece a la Región Hidrológica número 18 relativa a la Cuenca del Río Balsas y a la Cuenca del Río Grande del Amacuzac y se ubica dentro del polígono del área natural protegida Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (Dorado *et al.*, 2005).

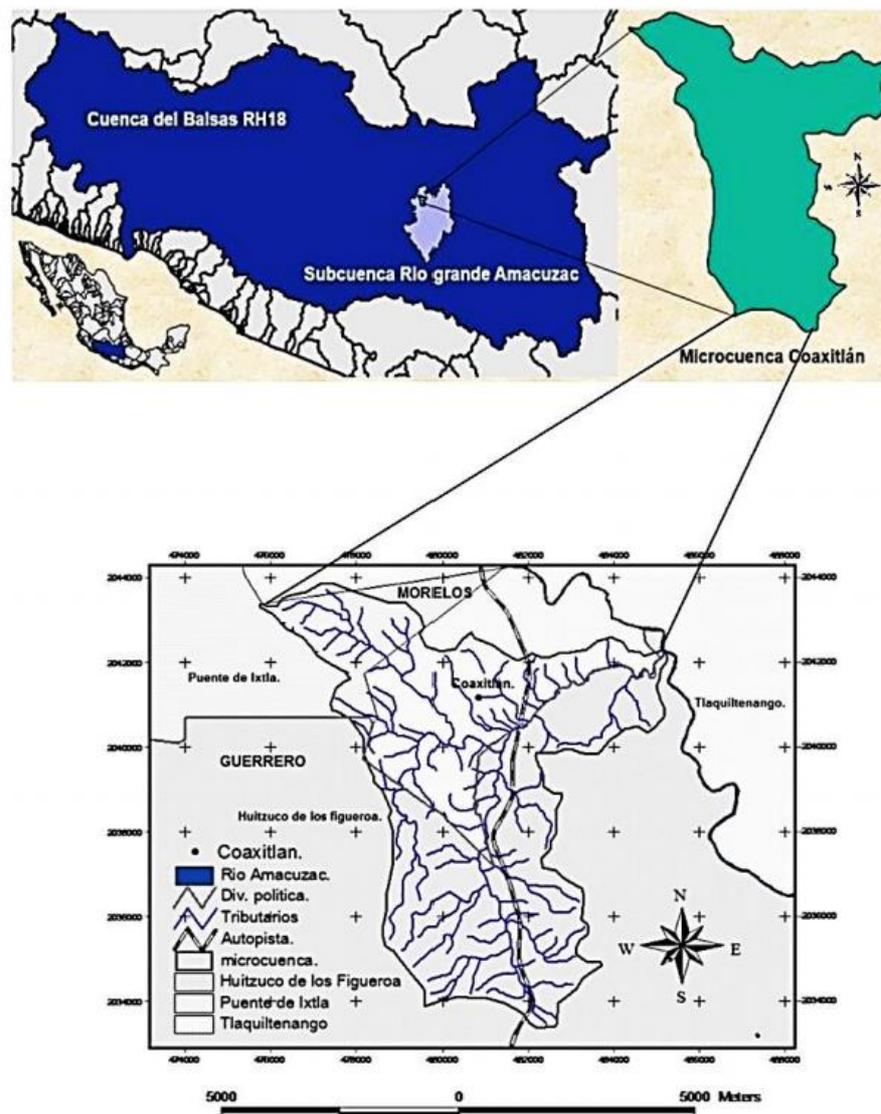


Figura 3. Ubicación geográfica de la microcuenca *Coaxitlán* en la Cuenca del Balsas, Región Hidrológica 18 (RH18), tomado de Luna (2017).

**6.3 Hidrogeomorfología.** La amplitud de su relieve va de los 750 a 1,600 m y el perfil longitudinal del cauce principal, parte de una altitud de 1,200 m con una cabecera de fuerte pendiente que se suaviza posteriormente, en el talud y se estabiliza en la parte más baja el relieve está representado por sistemas montañosos orientados de norte a sur, formando lomeríos surcados por cañadas y sierras escarpadas. Con topografía accidentada en toda la cuenca y valles angostos, en donde ocurren procesos de erosión, principalmente en sus cabeceras. En la zona alta de esta microcuenca, el relieve está representado por cañadas con valles angostos y una fuerte pendiente, en donde se generan escurrimientos formando ríos temporales durante la época de lluvias, en la parte baja se presenta una gran pendiente que se estabiliza formando planicies y corrientes de agua intermitentes (Luna, 2017).

El río *Agua Salada* es el cauce principal y conforma parte de esta microcuenca que es de forma alargada y del tipo exorreico, y se clasificó de acuerdo con (Horton, 1945), como del sexto orden por una alta complejidad en su red de drenaje y con muchos tributarios derivados del relieve accidentado que drena directamente al río Amacuzac. En la microcuenca Coaxitlán se presenta tres zonas funcionales representadas como diferentes unidades espaciales con una función hidrológica, que a continuación se describen:

*i) Zona de cabecera o parte alta.* Son áreas aledañas al parteaguas, de vital importancia para el funcionamiento de la cuenca, ya que los procesos y acciones que se desarrollan en esta parte tendrán repercusiones en las partes bajas. Cubre sistemas de montaña y lomeríos, en esta zona se garantiza la captación inicial del agua formando escurrimientos, la cubierta vegetal presente funciona como reguladora de la cantidad y temporalidad de estos.

*ii) Zona de captación y transporte o parte media.* Con rocas de tipo volcánico y sedimentario. Es la zona más extensa y con la mayor captación de agua que entra a la microcuenca, transporta tanto agua como minerales, sedimentos, nutrientes y materia orgánica, cuya concentración varía en función de las actividades que ahí se llevan a cabo. Caracterizada por ser la zona de amortiguamiento entre la parte alta y baja de la microcuenca y en donde ocurren mayormente actividades productivas.

iii) Zona de emisión o parte baja. Zona con afloramiento de manantiales y en donde los cursos del agua son más caudalosos y perennes. El cauce principal el río *Agua Salada*, es tributario del río Amacuzac. Esta zona recibe todos los impactos generados en otras zonas de la microcuenca.

**6.4 Clima.** Presenta un clima Awo"(w) (i')g, que corresponde a un clima cálido subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con un cociente P/T menor de 43.2, régimen de lluvias de verano y canícula con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 % isotermal (García, 1981). En esta microcuenca la temperatura promedio anual es de 22.7 °C. En los meses de enero y diciembre se registran las temperaturas más bajas con un promedio de 18 °C y en los meses de abril y mayo, las temperaturas más cálidas con un promedio de 27 °C (Luna, 2017).

**6.5 Estatus de la vegetación y actividades antrópicas.** La vegetación predominante es la Selva Seca o Selva Baja Caducifolia con distintos estados de perturbación y el Bosque Ripario sobre el cauce del río, en su mayoría con especies nativas para ambas. En la cabecera, la vegetación está conservada, mientras que la zona media o de talud está perturbada por la presencia de asentamientos humanos, principalmente por el poblado de Coaxitlán, con zonas agrícolas de temporal y actividad minera.

Esta última área se reconoce como la región minera de Coaxitlán (H), con depósitos de mineralización de yeso, cantera y mármol sedimentario, productos de un tipo de yacimiento sedimentario y estratiforme volcánico. Estos depósitos son utilizados como materia prima para las plantas calcinadoras de cemento, yeseras, caleras y trituradoras (Servicio Geológico Mexicano, 2011).

En la zona baja de la microcuenca o planicie del río, también se observa un buen estado de conservación de la vegetación. Es importante mencionar que la presión antropogénica más fuerte sobre esta microcuenca es el cruce de la Carretera Federal 95D conocida como Autopista del Sol. En esta zona, el aprovechamiento forestal se encuentra restringido a la recolección de leña para autoconsumo y también se registran actividades como pastoreo, pesquería y uso recreativo del agua (Alcocer, 2016 y Gómez, 2018).

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

**7.1 Uso de las referencias históricas para la elaboración del listado de especies de MID.** Este proyecto se desarrolló a través de una fase de gabinete en la cual se analizaron los registros históricos de tres tesis de la Licenciatura en Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), dos de ellas concluidas, y otra, en proceso terminal que forman parte del proyecto general “*La diversidad de macroinvertebrados dulceacuícolas y su uso como bioindicadores de la calidad del agua, calidad del hábitat acuático y del hábitat de ribera en la microcuenca Coaxitlán, Morelos-Guerrero*”.

Con los resultados de estos registros históricos, se analizaron también los parámetros de la riqueza, la abundancia y de los GFA's, en un período de tiempo comprendido de cuatro años de muestreo -de 2014 al 2018-, con un total de 32 muestreos biológicos en ocho con cinco hábitats distintos en el río *Agua Salada*, considerando para su análisis la escala espacial de las tres zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán*. Las referencias históricas, la clasificación de los hábitats, el número de estaciones, así como las fechas de colecta y las zonas funcionales se resumen en el cuadro uno.

Cuadro 1. Referencias históricas de los MID del río *Agua Salada* y su distribución por estaciones, hábitats y zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán*.

Referencias históricas	Hábitats	Estaciones	Fechas de colecta	Zona funcional de la microcuenca
Gómez (2018)	Hábitat 1 (H1). Río temporal <i>La Huixilera</i> conformado por Charcas y escurrimientos	E1	Ago 2015 Oct 2015	Zona de la cabecera o parte alta
	Hábitat 2 (H2). Río intermitente <i>Agua Salada</i>	E2 y E3	Oct 2015 Dic 2015 Feb 2016	Zona de captación y transporte o parte media
Alcocer (2016)	Hábitat 3 (H3). Manantial <i>Poza Azul</i>	E4	Abr 2014 May 2014 Jul 2014 Ago 2014	Zona de emisión o parte baja
Fernández (sin publicar)	Hábitat 4 (H4). Río perenne <i>Agua Salada</i>	E5 y E6	Dic 2017 Feb 2018 Mar 2018	
	Hábitat 5 (H5). Río perenne <i>Agua Salada</i> cercano a la desembocadura al río Amacuzac	E7 y E8	May 2018 Jun 2018	
Luna (2017)	Caracterización de la microcuenca Coaxitlán de acuerdo con las zonas funcionales.			

**7.2 Selección de estaciones de muestreo.** De acuerdo con Alcocer (2016), Gómez (2018) y Fernández (sin publicar), las estaciones de muestreo fueron seleccionadas bajo los criterios del protocolo Muestreo Visual Georgia Adopte-un-Arroyo (2004), que consiste en reconocer en seis secciones, los siguientes atributos:

I. Datos de referencia. Como lo fueron el registro de la localidad, el número de la estación de muestreo, la altitud, las coordenadas en UTM o coordenadas geográficas, la fecha, la hora, la temperatura ambiente y nombre del colector.

II. Cuadro ambiental. Que consistió en la medición de algunos parámetros físicos y químicos del agua *in situ* a las márgenes y centro de cada una de las estaciones de muestreo como la temperatura del agua, el oxígeno disuelto, el porcentaje de saturación de oxígeno, el pH, la conductividad, los sólidos disueltos totales y la determinación del caudal de la corriente a través de la técnica de sección transversal del río o vadeo.

III. Medidas cuantitativas del río. Que consistieron en: *i*) la presencia de escorrentías sobre las orillas, si está seco o estancado; *ii*) el grado en el que se encuentra incrustado el material rocoso en el lecho del río en la zona de corrientes; *iii*) la materia orgánica que esté presente por causa natural con la presencia de troncos o grandes trozos de madera, hojas, ramas o raíces; *iv*) el olor natural del agua o por drenaje, con olores a sulfuros, amoníaco, cloro, gasolina u otros químicos; *v*) la superficie del agua si es clara o tiene espumas, brillos de aceite u otros; *vi*) la claridad o turbiedad por material suspendido o por sedimentos, algas, taninos u otros dados por descargas químicas al agua, y *vii*) la erosión al registrar la presencia de la cobertura vegetal en cada una de las márgenes del río, señalando los indicadores visuales como suelo expuesto y pérdida de suelo obvia, pendientes empinadas en forma de “U” y raíces expuestas, o bien, suelo cubierto de vegetación, pendientes suaves y raíces no expuestas.

IV. Muestreo visual biológico. En el que se registró vida silvestre en o alrededor del río, con la observación de la presencia de organismos o de rastros de huellas, pelos, cadáveres, restos o mudas. De la observación directa de peces, su talla y abundancia, plantas acuáticas con la observación directa de sus hábitos y abundancia. El registro de la extensión de algas

filamentosas o *matas*, en algún tipo de sustrato como piedras sumergidas, ramas u otros sustratos que se encuentran cubiertos por una capa de algas o flotando en la superficie del agua, y finalmente, la cobertura sobre el río, que registrando corriente abajo, se dio un valor porcentual.

V. Reconocimiento de microhábitats. Se definieron por *i*) su temporalidad, es decir, si son permanentes durante todo el muestreo; intermitentes con variaciones por el volumen y la escorrentía de agua; y temporales, como aquellos que solo mantienen agua durante la época de lluvias; *ii*) por su presencia o ausencia de vegetación acuática, y de acuerdo a su hábitos de crecimiento como flotante, flotante-sumergida, sumergida, flotante-emergente o emergente; *iii*) si forman parte del plocon, con algas filamentosas flotantes, sumergidas o briofitos, o del pecton, como colonias de algas microscópicas, fanerógamas y briofitos que conforman el perifiton; *iv*) por el fondo y tipo de sustrato como fango, arena, rocas o en combinación; *v*) por el tipo o la ausencia de detritos, si es fino, grueso o en combinación; *vi*) por el porcentaje de insolación, con sombra, parcialmente sombreado o expuesto al sol, y *vii*) por su transparencia como agua clara o turbia.

VI. Esquemas del tramo, sección o estación del río muestreada. Se realizó a través de la elaboración de un esquema que tomó en cuenta la distribución de los tipos de microhábitats, vegetación acuática, vegetación riparia, tipos de sustratos, playas y otros registros u observaciones de relevancia para la interpretación de resultados. A continuación, se presentan imágenes del paisaje de cada una de las estaciones (Figuras 4 a la 11).

**7.3 La colecta de los MID.** De acuerdo con las referencias históricas, para la obtención, fijación y traslado de las muestras biológicas se siguieron los protocolos de Merritt *et al.*, (2008a) y Ramírez, (2010). De esta manera, para cada uno de los hábitats, los MID se recolectaron a las márgenes y al centro del hábitat acuático entre sustratos de vegetación acuática, depósitos de hojarasca, rocas, gravas, arenas y anhidrita utilizando una red de cuchara con una apertura de luz de malla de 0.025 mm, y posteriormente se colocaron en bolsas de plástico de 1 kg con cierre hermético y se fijaron en alcohol etílico al 70 %.



Figura 4. Vista panorámica de la Estación 1 (E1), hábitat río temporal *La Huixilera* que se forma de escurrimientos durante la época de lluvias, en la zona de la cabecera o parte alta de la microcuenca *Coaxitlán*.



Figura 5. Vista panorámica de la Estación 2 (E2), hábitat río intermitente *Agua Salada* durante la época de secas, en la zona de captación y transporte o parte media de la microcuenca *Coaxitlán*.



Figura 6. Vista panorámica de la Estación 3 (E3), hábitat río intermitente *Agua Salada* durante la época de secas, en la zona de captación y transporte o parte media de la microcuenca *Coaxitlán*.



Figura 7. Vista panorámica de la Estación 4 (E4), hábitat río perenne *Agua Salada* a partir del Manantial *Poza Azul* durante la época de secas, en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca *Coaxitlán*.



Figura 8. Vista panorámica de la Estación 5 (E5), hábitat río perenne *Agua Salada* durante la época de secas, en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca *Coaxitlán*.



Figura 9. Vista panorámica de la Estación 6 (E6), hábitat río perenne *Agua Salada* durante la época de secas, en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca *Coaxitlán*.



Figura 10. Vista panorámica de la Estación 7 (E7), hábitat río perenne *Agua Salada* cercano a la desembocadura del río Amacuzac durante la época de secas, en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca *Coaxitlán*.



Figura 11. Vista panorámica de la Estación 8 (E8), hábitat río perenne *Agua Salada* cercano a la desembocadura del río Amacuzac durante la época de secas, en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca *Coaxitlán*.

**7.4 Análisis de la estructura de la comunidad de los MID.** Para analizar de la estructura de la comunidad, se tomaron en cuenta los parámetros de riqueza específica, abundancia, diversidad, diversidad alfa y diversidad beta de los MID, y de acuerdo con los criterios de Moreno (2001):

**7.4.1 Riqueza específica.** Se basa en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de estas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario que nos permita conocer el número total de especies obtenido por el censo de la comunidad.

**7.4.2 Abundancia.** Es la representación relativa de una especie en particular. Suele medirse como el número de individuos encontrados. La relación de una especie con respecto a una o varias que viven en un ecosistema se conoce como abundancia relativa.

**7.4.3 Diversidad.** Se estimó la diversidad, diversidad máxima esperada y la equidad, mediante la función de Shannon-Wiener, que combina dos componentes de la diversidad: el número de especies y la igualdad o desigualdad de la distribución de los individuos (Krebs, 1999), de esta forma:

$$H = -\sum_{i=1}^s (p_i)(\log_2 p_i)$$

donde:

H = Índice de diversidad de Shannon-Wiener

S = número de especies

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

Diversidad máxima esperada:  $H_{max} = \log_2 S$

Equidad:  $E = H / H_{ma}$

**7.4.4 Diversidad alfa.** Es la diversidad de especies de una comunidad en particular a la que consideramos homogénea que se define como la riqueza de especies de una muestra territorial.

**7.4.5 Diversidad beta.** Mide las diferencias (el recambio) entre las especies de dos puntos, dos tipos de comunidades o paisajes. La diversidad beta o diversidad entre hábitats es el grado de reemplazamiento de especies o cambio biótico a través de gradientes ambientales.

Su medición es de una dimensión diferente porque está basada en proporciones o diferencias. Estas proporciones pueden evaluarse con base en índices o coeficientes de similitud, de disimilitud o de distancia entre las muestras a partir de datos cualitativos (p.e. presencia-ausencia de especies) o cuantitativos (abundancia proporcional de cada especie medida como número de individuos, biomasa, densidad, cobertura, etcétera).

**7.4.6 Coeficiente de similitud de Sørensen (Czekanovski-Dice-Sørensen).** Relaciona el número de especies en común con la media aritmética de las especies en ambos sitios (Magurran, 1988).

$$I_{s+} = \frac{2c}{a+b}$$

**7.5 Análisis espacial y temporal de los GFA's.** Con el listado faunístico de los MID se reconoció el GFA's al que pertenecía cada especie de acuerdo con los tipos de ingesta y mecanismos de alimentación publicados por Pennak (1978); Thorp y Covich (2010); Bonada *et al.*, (2006); Merritt *et al.*, (2008b); Merritt y Cummins (2017) y Cummins (2018) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Niveles tróficos, GFA's propuestos por varios autores y abreviaciones utilizadas en este proyecto de investigación.

Niveles tróficos	GFA's	Abreviación
1. Herbívoros (Her)	Fragmentadores o Desmenuzadores	(Des)
	Filtradores	(Fil)
	Raspadores	(Ras)
2. Carnívoros	Depredadores	(Dep)
	Parasitoides	--
	Parásitos	--
3. Detritívoros o Colectores (Col)	Fragmentadores o Desmenuzadores	(Des)
	Filtradores	(Col-Fil)
	Recogedores o Recolectores	(Col-Rec)

De esta forma, una vez que se reconocieron los GFA's al que pertenecía cada taxon y con los valores de su abundancia relativa, se obtuvieron los valores porcentuales a partir del número total de organismos en la muestra, utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ GFA's} = \frac{\text{Total de organismos del GFA's}}{\text{Total de organismos de la muestra}}$$

La realización de los gráficos fue por fecha y estación de muestreo, para así discernir sobre las posibles variaciones longitudinales y espaciales del río *Agua Salada* y de las zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán*.

**7.6 Elaborar un modelo gráfico y descriptivo de los GFA's de los MID.** Para la construcción del modelo grafico se utilizó como referencia el *River Continuum Concept* que es el modelo más conocido de ecosistemas fluviales, que describe como la comunidad acuática y su organización responden a cambios longitudinales por diferentes fuentes de energía alóctonas y autóctonas (Vannote *et al.*, 1980).

De tal forma, se realizó un esquema del río señalando en cada estación el promedio de cada uno de los GFA's de los MID representados en una gráfica de tipo pastel para conocer y representar las variaciones a lo largo del río *Agua Salada* y de sus zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán*, en donde los seis GFA's se identificaron con los siguientes colores: *i*) depredadores en naranja; *ii*) colectores-recolectores en amarillo; *iii*) colectores-filtradores en verde claro; *iv*) herbívoros en café; *v*) desmenuzadores en gris, y *vi*) raspadores en color verde oscuro.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**8.1 La riqueza de taxones de los MID.** Con la compilación de los registros históricos de los MID, Alcocer (2016) fue quien registró el mayor número de taxones con 82, seguidas de Gómez (2018) con 66 y Fernández (sin publicar) con 47 y sumando un total 130 para la microcuenca *Coaxitlán* (Cuadro 3).

Cuadro 3. Los taxones registrados de MID de la microcuenca *Coaxitlán*, según referencias históricas.

Clase	Orden	Familia	Especie	Alcocer (2016)	Gómez (2018)	Fernández (sin publicar)		
Arachnida	Acari (Suborden)				x	x		
Crustacea	Amphipoda	Gammaridae	<i>Hyallega azteca</i>		x			
	Decapoda	Pseudothelphusidae	<i>Pseudothelphusa morelosis</i>			x		
	Isopoda	Asellidae	<i>Asellus</i> sp.		x			
	Ostracoda				x			
Gasteropoda	Basommatophora	Planorbidae			x	x		
	Mesogastropoda	Hidrobiidae	Morfo 1			x		
			Morfo 2			x		
Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Celina</i> sp.	x	x			
			<i>Copelatus</i> sp.		x			
			<i>Desmopachria variegata</i>	x	x			
			<i>Hydaticus</i> sp.		x			
			<i>Hydrovatus</i> sp.		x			
			<i>Laccophilus pictus pictus</i>	x	x			
			<i>Liodessus</i> sp.		x			
			<i>Rhantus gutticollis</i>	x				
			<i>Thermonectus basillaris</i>	x	x			
			<i>Thermonectus marmoratus</i>	x	x			
			<i>Thermonectus</i> sp.	x				
		Curculionidae				x		
		Gyrinidae	<i>Dineutus truncatus</i>			x		
		Elmidae	<i>Heterelmis</i> sp.					x
			<i>Hexacylloepus apicalis</i>		x			
			<i>Macrelmis leonilae</i>		x	x		x
			<i>Microcyloepus inaequalis</i>		x	x		x
			<i>Phanocerus clavicornis</i>		x			
		Hydraenidae	<i>Ochthebius</i> sp.		x	x		
		Hydrophilidae	<i>Berosus</i> sp.		x			x
			<i>Berosus hoplites</i>			x		
			<i>Berosus moerens</i>		x			
			<i>Berosus rugulosus</i>		x	x		
			<i>Enochrus sharpi</i>		x	x		
			<i>Helochares normatus</i>		x	x		
			<i>Paracymus</i> sp.				x	
			<i>Tropisternus clybeus</i>		x	x		
			<i>Tropisternus ellipticus</i>		x	x		
		<i>Tropisternus</i> sp.		x	x			
		Hydroscaphidae	<i>Hydroscapha natans</i>		x			
		Lutrochidae	<i>Lutrochus</i> sp. 1		x			
			<i>Lutrochus</i> sp. 2		x			
			<i>Lutrochus</i> sp. 3		x			
		Limnichidae					x	
		Psephenidae	<i>Dicranopselaphus</i> sp.		x			
			<i>Psephenus</i> sp.		x			x
		Scirtidae	<i>Elodes</i> sp.				x	
			<i>Microcara</i> sp.		x			
			<i>Scirtes</i> sp.		x			

Cuadro 3. *Continuación...* Los taxones registrados de MID de la microcuenca *Coaxitlán*, según referencias históricas.

Clase	Orden	Familia	Especie	Alcocer (2016)	Gómez (2018)	Fernández (sin publicar)	
Insecta	Coleoptera	Staphylinidae		x		x	
	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.	x			
			<i>Culicoides</i> sp.	x	x	x	
		Chaoboridae	<i>Chaoborus</i> sp.		x		
	Diptera	Chironomidae		x	x	x	
			<i>Pentaneura</i> sp.			x	
		Culicidae	<i>Aedes</i> sp.	x			
			Indeterminada		x		
		Dixidae	<i>Dixella</i> sp.		x	x	
		Empididae	<i>Chelifera</i> sp.	x			
			<i>Hemerodromia</i> sp.	x		x	
		Ephydriidae				x	
		Muscidae	<i>Limnophora</i> sp.	x			
			<i>Maruina</i> sp.	x	x	x	
		Psychodidae	<i>Pericoma</i> sp.	x	x	x	
		Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	x		x	
		Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i> sp.	x			
		Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp.		x		
		Tabanidae	<i>Tabanus</i> sp.			x	
		Tipulidae	<i>Tipula</i> sp.1			x	
			<i>Tipula</i> sp. 2			x	
		Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes</i> sp.	x	x	
	<i>Callibaetis</i> sp.			x	x		
	Leptoypthidae		<i>Camelobaetidius</i> sp.	x		x	
			<i>Leptoypthes</i> sp.	x	x	x	
	Leptophlebiidae		<i>Tricorythodes</i> sp.	x	x	x	
			<i>Thraulodes</i> sp.	x	x	x	
			<i>Traverella</i> sp.	x	x		
			<i>Belostoma</i> sp.	x	x	x	
	Hemiptera		Corixidae	<i>Graptocorixa</i> sp.		x	
			Gerridae	<i>Aquarius</i> sp.		x	
		<i>Limnogonus</i> sp.		x	x		
		<i>Limnopus</i> sp.		x	x		
		Hebriidae	<i>Trepobates</i> sp.	x			
			<i>Hebrus</i> sp.	x			
			<i>Lipogomphus</i> sp.	x			
		Hydrometridae	<i>Merragata</i> sp.		x		
			<i>Hydrometra</i> sp.		x		
		Macroveliidae	<i>Macrovelia</i> sp.	x	x		
		Naucoridae	<i>Ambrysus</i> sp.	x	x	x	
			<i>Pelocoris</i> sp.	x		x	
		Notonectidae	<i>Notonecta</i> sp.	x	x		
<i>Martarega</i> sp.				x			
Ochteridae		<i>Ochterus</i> sp.	x				
Saldidae	<i>Saldula</i> sp.	x	x				
Veliidae	<i>Microvelia</i> sp.	x	x	x			

Cuadro 3. *Continuación...* Los taxones registrados de MID de la microcuenca *Coaxtlán*, según referencias históricas.

Clase	Orden	Familia	Especie	Alcocer (2016)	Gómez (2018)	Fernández (sin publicar)
Insecta	Hemiptera	Veliidae	<i>Rhagovelia</i> sp.	x	x	
	Lepidoptera	Crambidae	<i>Petrophila</i> sp.	x		x
	Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalis texanus</i>		x	x
			<i>Chloronia mexicana</i>			x
	Odonata	Aeshnidae	<i>Aeshna</i> sp.		x	
		Calopterygidae	<i>Haeterina americana</i>	x		x
			<i>Argia extranea</i>	x		
		Coenagrionidae	<i>Argia</i> sp.	x	x	x
			<i>Enallagma civile</i>	x		
			Indeterminada		x	
	Odonata	Gomphidae	<i>Phyllogomphoides pacificus</i>	x		
			<i>Phyllogomphoides</i> sp.	x		
		<i>Progomphus</i> sp.			x	
		Libellulidae	<i>Miathyria marcella</i>	x		
			<i>Perithemis intensa</i>	x		
		<i>Perithemis</i> sp.	x		x	
		Lestidae	<i>Archilestes grandis</i>		x	
			<i>Palaemnema desiderata</i>		x	
	Platystictidae	<i>Palaemnema domina</i>	x		x	
		<i>Cheumatopsyche</i> sp.		x		
	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i> sp.	x		x
			<i>Dibusa</i> sp.			x
		Hydroptiliidae	<i>Hydroptila</i> sp.			x
			<i>Leucotrichia</i> sp.	x		x
			<i>Ochrotrichia</i> sp.	x		
			<i>Oxyethira</i> sp.	x		
			<i>Stactobiella delira</i>	x		
			<i>Nectopsyche</i> sp.	x		
		Limnephilidae				x
		Molannidae				x
Odontoceridae			x			
Philopotamidae		<i>Chimarra</i> sp.			x	
		<i>Wormaldia</i> sp.	x			
Polycentropodidae		<i>Polycentropus</i> sp.	x			
Oligochaeta	Haplotaaxida	Tubificidae		x		
<b>Total =</b>				<b>82</b>	<b>66</b>	<b>47</b>

Estos taxones estuvieron comprendidos en cinco clases, 18 órdenes, un suborden, 64 familias, 99 géneros, 113 especies y un total de 130 taxones, siendo la clase Insecta la de mayor número de registros con 120 especies, seguidas de Crustacea y Gasteropoda con cuatro para cada una y de Arachnida y Oligoqueta con una respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resumen taxonómico y número de taxones de MID registrados en la microcuenca *Coaxitlán*.

Categorías	Número	Número de taxones por Clase	
Clases	5	Insecta	120
Órdenes	18	Crustacea	4
Subórdenes	1	Gasteropoda	4
Familias	64	Arachnida	1
Géneros	99	Oligochaeta	1
Especies	113		
<b>Número total de taxones</b>	<b>130</b>		

La riqueza de MID en el río *Agua Salada* en la microcuenca *Coaxitlán* es alta de acuerdo con otros sistemas fluviales del estado de Morelos, solo por debajo del río Amacuzac que es el río con mayor caudal en el estado de Morelos, y por encima del río Cuautla, que es el más largo de la entidad. Cabe señalar, que las referencias de Bobadilla (2015) y Hernández (2017) reportaron únicamente especies de insectos acuáticos sin registrar otras especies de MID (Cuadro 5).

Cuadro 5. Número de especies de MID en ecosistemas fluviales del estado de Morelos de acuerdo con las referencias históricas. \*Referencias que solo reportan especies de insectos acuáticos.

Referencias históricas	Sistema fluvial	Clases	Ordenes	Familias	Géneros	Especies
Ochoa (2015) Montes (2003)	Río Amacuzac	5	14	66	172	279
Este trabajo	Río <i>Agua Salada</i> en la microcuenca <i>Coaxitlán</i>	5	18	64	99	130
Ruiz-Picos <i>et al.</i> , (2016)	Ríos Apatlaco y Chalma-Tembembe	7	21	63	--	--
Hernández (2017)*	Río Cuautla	1	9	46	73	90
Bobadilla (2015)*	Sistemas lóticos y lénticos en Cruz Pintada, Sierra de Huautla	1	7	31	44	60
Benítez (2006)	Arroyo " <i>Las Trancas</i> " en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala	7	15	39	41	52

**8.2 Variación espacial de la riqueza específica.** La mayor riqueza se registró en la E1 en la zona de la cabera o parte alta y la menor fue en la E8 en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca. Con estas variaciones, se advirtieron cuatro patrones: 1) una alta riqueza en la zona de la cabecera o parte alta; 2) un descenso de la riqueza en la zona de captación o transporte o parte media; 3) una recuperación de la riqueza al inicio de la zona de emisión o parte baja, y 4) un descenso de la riqueza en la parte final de esta zona cercana a la desembocadura con el río Amacuzac (Figura 12).

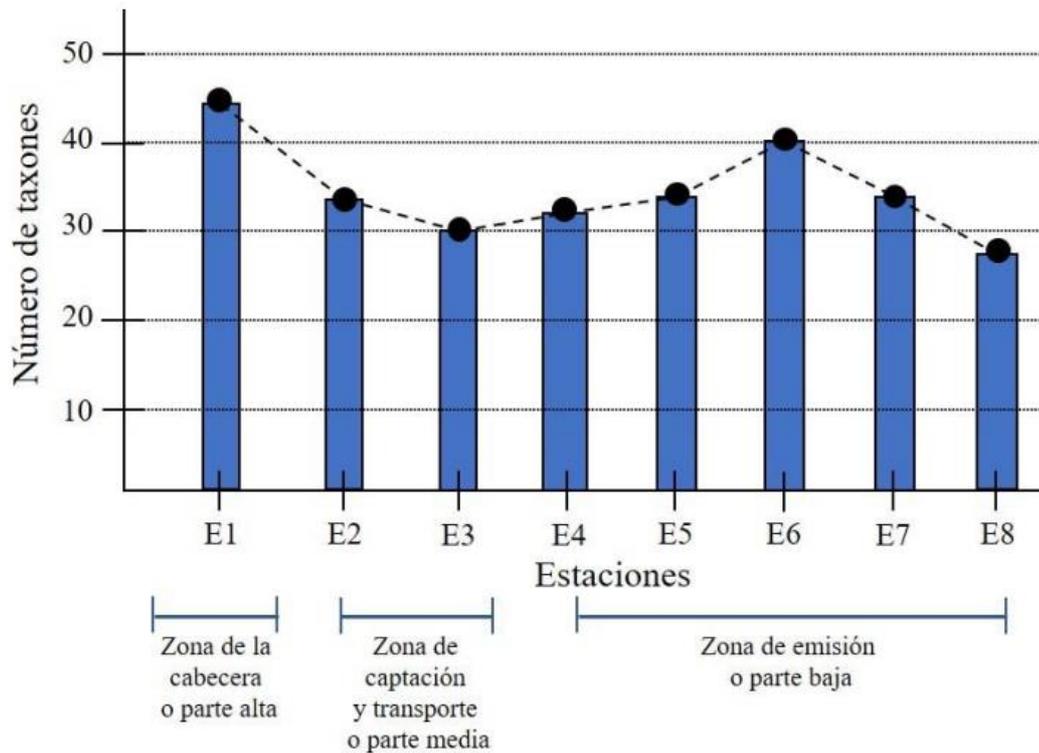


Figura 12. Variaciones de la riqueza específica de los MID por estaciones de muestreo y por zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán*.

Estas variaciones de la riqueza se podrían explicar de acuerdo con los siguientes argumentos: *i*) transiciones entre los tipos de hábitats acuáticos; *ii*) cambios en la composición de los MID; *iii*) la calidad del hábitat acuático y de ribera, y *iv*) los tipos de sustrato.

Con respecto a la transición entre los tipos de hábitats acuáticos, la zona de la cabecera o parte alta se distingue por ser de escurrimientos y charcas pequeñas que contienen agua solo en lluvias y posteriormente se secan, para transitar a la zona de captación y transporte o parte media con un río intermitente que solo lleva corriente de agua durante y posteriormente a la época de lluvias y que forma pozas amplias seguidas de tramos con el lecho del río seco, y finalmente, se transita hacia la zona de emisión o parte baja, con un río perenne con la aportación del manantial *Poza Azul* y con varios veneros y escurrimientos durante su trayectoria.

Por otra parte, los cambios en la riqueza de los MID, podría estar fundamentada en su composición, es decir, la zona de la cabecera o parte alta es distinta a la de las zonas de captación

y transporte o parte media y de emisión o parte baja de la microcuenca *Coaxitlán*. La zona de la cabecera o parte alta, la colonizan principalmente de grupos de insectos acuáticos como Coleoptera, Diptera, Hemiptera y Odonata quienes presentan una capacidad amplia para la dispersión por vuelo y cumplen ciclos de vida cortos en aguas estancadas con bajas concentraciones de oxígeno, para dispersarse posteriormente, cuando cambian las condiciones, mientras que en las zonas de captación y transporte o parte media y de emisión o parte baja las ocupan especies propiamente reofilicas, que son aquellas que viven en hábitats con aguas de corriente rápida, turbulentas y bien oxigenadas (Huryn *et al.*, 2008 y Hanson *et al.*, 2010).

Las variaciones de la riqueza de los MID también pudieran estar relacionadas a la calidad del hábitat acuático. Comparando los registros históricos de Gómez (2018), Fernández (sin publicar) y Suárez (sin publicar), quienes aplicaron el protocolo de la Environmental Protection Agency (2001) en las estaciones de muestreo, registraron diagnósticos de Buena a Excelente calidad del hábitat acuático, que sugieren una posible relación con los cambios espaciales de la riqueza de los MID (Cuadro 6).

Cuadro 6. Diagnóstico de la calidad del hábitat acuático en cada una de las estaciones de muestreo y zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán* de acuerdo con el protocolo de la Environmental Protection Agency (2001), según referencias históricas.

Referencias históricas	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
	Zona de la cabecera o parte alta	Zona de captación y transporte o parte media		Zona de emisión o parte baja				
Gómez (2018)	Buena	Excelente	Excelente					
Fernández (sin publicar)					Buena	Buena	Excelente	Excelente
Suárez (sin publicar)		Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

**8.3 Variación espacial de la abundancia relativa.** Los tipos de sustrato también podrían estar influyendo en la composición y riqueza espacial de los MID. Estos variaron de acuerdo con las estaciones de muestreo y zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán* y definen en parte a los tipos de hábitats acuáticos. Se presentan más tipos de sustratos entre la E4 a la E6 como arcillas, arenas, gravas, cantos rodados, rocas, troncos sumergidos, matas de algas, plantas acuáticas y depósitos de hojarasca, que señalan en la zona de emisión o parte baja del río *Agua Salada* una mayor heterogeneidad con opciones de colonización para nichos ecológicos

específicos y una mayor riqueza de los MID (Minshall, 1984; Ward, 1992 y Cummins *et al.*, 2008) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cambios en los principales tipos de sustrato en cada una de las estaciones de muestreo y zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán* según referencias históricas.

Referencias históricas	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
	Zona de la cabecera o parte alta	Zona de captación y transporte o parte media		Zona de emisión o parte baja				
Gómez (2018)	Arenas, rocas y depósitos de hojarasca	Arenas, gravas, cantos rodados, rocas y depósitos de hojarasca						
Alcocer (2016)				Arcillas, arenas, gravas, cantos rodados, rocas, matas de algas, plantas acuáticas y depósitos de hojarasca				
Fernández (sin publicar)				Arcillas, arenas, gravas, cantos rodados, rocas, troncos sumergidos, matas de algas, plantas acuáticas y depósitos de hojarasca		Arenas, anhidrita, matas de algas y depósitos de hojarasca		

**8.4 Variación temporal de la abundancia relativa.** Al analizar las fechas de colecta y su abundancia relativa de los MID, se observó una relación con la temporalidad. De acuerdo con Luna (2017), quien analizó las condiciones climáticas de la microcuenca *Coaxitlán*, con datos de los últimos 25 años de siete estaciones meteorológicas ubicadas en un radio de 50 km al área de estudio, registró lo siguiente: *i)* los meses más secos son diciembre, febrero y marzo; *ii)* los meses con lluvias escasas y valores menores de 50 mm de lámina acumulada promedio, son enero, abril y noviembre; *iii)* los meses con lluvias moderadas mayores de 50 mm son mayo y octubre, y finalmente, *iv)* los meses de lluvias intensas con valores mayores de 200 mm son junio, julio, agosto y septiembre.

De esta manera, las abundancias mayores de los MID fueron superiores a los 1,000 individuos en las temporadas de los meses más secos y con lluvias escasas, en diciembre en la E3 y abril en la E4 respectivamente; mientras que las abundancias menores fueron por debajo de los 100 individuos en la temporada de los meses más secos, precisamente en diciembre en las E5, E6 y E8. La mayoría de los registros de la abundancia relativa de los MID oscilaron entre los 100 y los 400 individuos en las temporadas de los meses más secos, con lluvias moderadas y lluvias intensas (Figura 13).

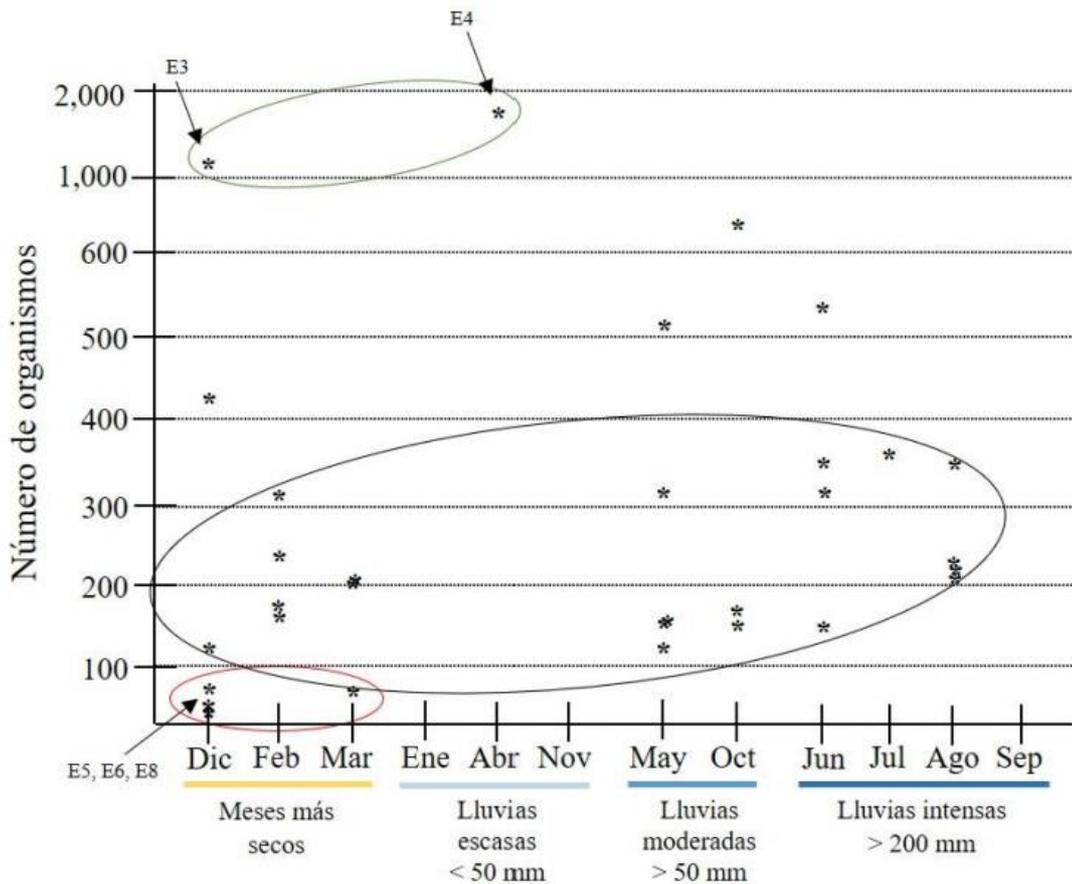


Figura 13. Variaciones de la abundancia de los MID por temporalidad en la microcuenca Coaxitlán.

Por otra parte, las variaciones en la abundancia también podrían estar en función de la fenología de cada una de las especies de los MID. Las marcadas variaciones en la abundancia podrían estar expresando momentos de reproducción, eclosión, deriva, emergencia y colonización, que por supuesto, estarían también en relación con las variaciones del caudal de la corriente, y principalmente, de la temperatura del agua, que es un detonador de los procesos reproductivos (Quiróz *et al.*, 2006a; Huryn *et al.*, 2008 y Hanson *et al.*, 2010).

**8.5 Variación espacial y temporal de la diversidad.** La diversidad temporal y espacial fue alta en las tres zonas funcionales del río con valores por arriba de 2.5 bits/ind, pero con excepción de los meses de febrero 2016 en la E3, abril y mayo 2014 en la E4 que registraron valores por debajo del mencionado anteriormente. El valor puntual más alto que se registró fue de 3.8 bits/ind en el mes de febrero en la E5. Cabe mencionar que los valores más bajos se presentaron

en la transición entre las zonas funcionales media y baja, para después volver a subir a lo largo de toda la zona baja del río (Figura 14).

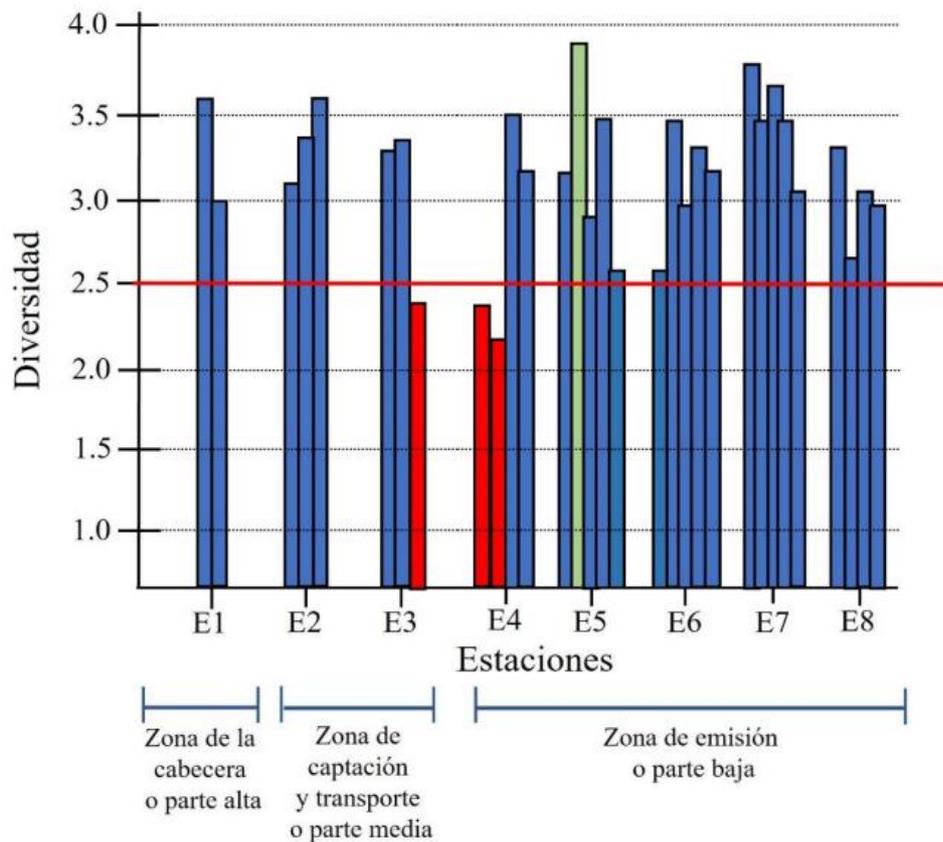


Figura 14. Variación espacial y temporal de la diversidad de los MID por estaciones de muestreo y por zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán*.

La diversidad y sus variaciones en espacio y tiempo del río *Agua Salada*, se discutieron de igual manera, que el de la riqueza específica, es decir, por los distintos procesos de las especies para llevar a cabo rápidos eventos de reproducción, amplia dispersión por vuelo y por deriva, colonización, ciclos de vida cortos y preferencia para los hábitats temporales y permanentes que se forman en cada una de las zonas funcionales, y por supuesto, que las variaciones también podrían estar relacionadas con los diagnósticos registrados, que van de buena a excelente calidad del hábitat acuático, en este río (Huryñ *et al.*, 2008 y Hanson *et al.*, 2010).

**8.6 Variación de la diversidad alfa.** En general, la diversidad alfa fue homogénea y alta a lo largo del río, presentándose el valor más alto en la E1 con 4.1, y el más bajo, en la E3 con 3.1 (Figura 15). Estos resultados sugieren que domina la composición de la comunidad de MID de la zona baja con respecto a las zona alta y media. Como se pudo observar, las especies de la zona baja habitan principalmente zonas de rápidos (reofilicas), y colonizan preferentemente, sustratos firmes como rocas, madera y anhidrita, y también sustratos blandos como arenas, arcillas, detritos y depósitos de hojarasca.

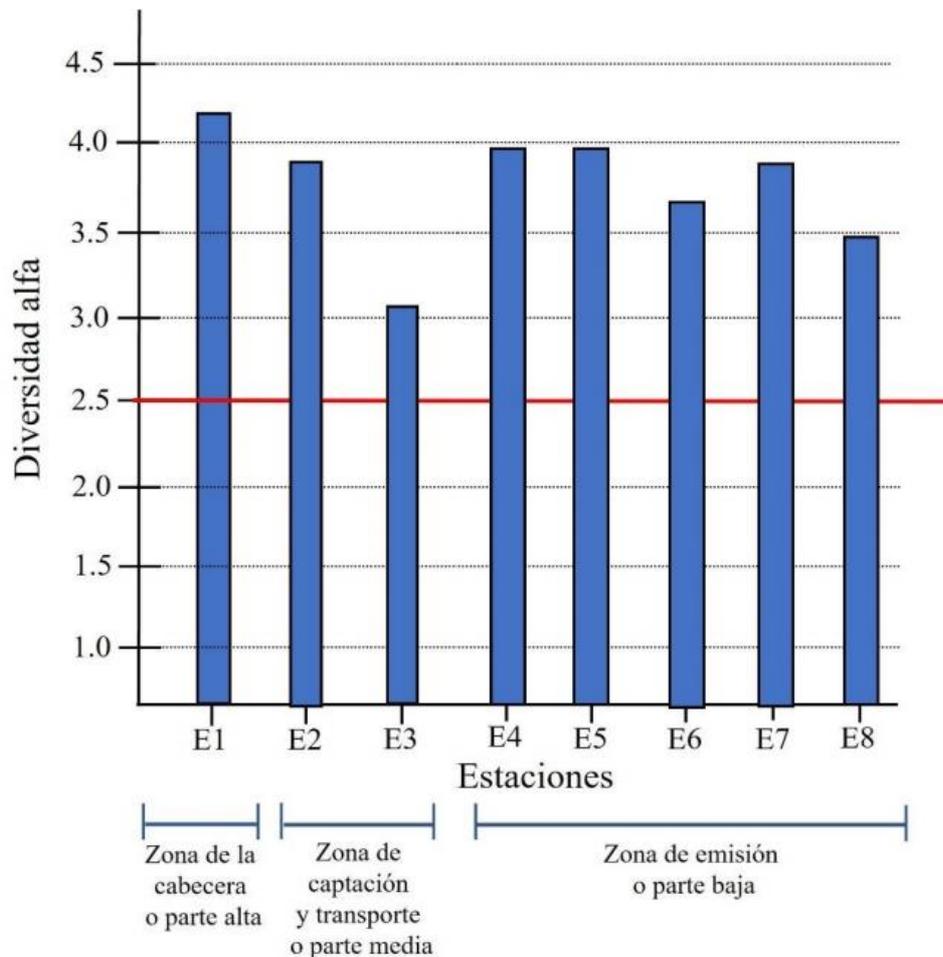


Figura 15. Variación espacial y temporal de la diversidad alfa de los MID por estaciones de muestreo y por zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán*.

**8.7 Diversidad beta.** Con el análisis de la diversidad beta se distinguieron dos puntos de recambio de especies. El primero entre las E3 y E4 con un coeficiente alto del 0.84 ubicadas entre las zonas funcionales media y baja del río, que sugiere que es un espacio de transición del

paisaje en donde se combinan elementos como la permanencia de la corriente del agua y con el aporte continuo de los distintos manantiales ascendentes y descendentes, que provocan cambios en la temperatura y de las concentraciones de sales y nutrientes al agua (Cuadro 8).

El segundo punto de recambio de especies se presentó en todas las estaciones de la zona baja del río con coeficientes altos que fueron de 0.74 a 0.84 (Cuadro 8). Los resultados sugieren que la composición de esta comunidad de MID, recambia espacial y temporalmente, por procesos de deriva, principalmente de las formas inmaduras, y de emergencia y colonización de río abajo y río arriba, por las formas adultas de varios grupos de insectos como efemerópteros, odonatos, dípteros, tricópteros, coleópteros, entre otros. Así mismo, de otras zonas de influencia como la desembocadura del río Amacuzac y otros factores físicos y mecánicos como la velocidad de la corriente y la temperatura del agua.

Cuadro 8. Valores obtenidos de la diversidad beta al comparar las zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán* en donde se muestran principalmente la similitud de la composición de los MID en la parte baja del río *Agua Salada*.

	Zona de la cabecera o parte alta	Zona de captación y transporte o parte media		Zona de emisión o parte baja				
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
E1		0.28						
E2								
E3				0.84				
E4								
E5						0.79	0.76	0.74
E6							0.84	0.79
E7								0.82

**8.8 Grupos Funcionales Alimenticios.** De acuerdo con la literatura consultada, se reconocieron seis GFA's: Depredadores; Colectores divididos en recolectores y filtradores; Herbívoros; Desmenuzadores y Raspadores. El GFA's con mayor número de taxones fue el de los Depredadores con 60, seguidos de Colectores-Recolectores con 23, Herbívoros con 14, Raspadores con 12, Colectores-Filtradores con 11 y Desmenuzadores con 10 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Los Grupos Funcionales Alimenticios de los MID en la microcuenca *Coaxitlán*.

Grupo Funcional Alimenticio (GFA's)	Orden	Familia	Especie
<b>Depredadores (Dep)</b>	Acari (Suborden)		
	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Celina</i> sp. <i>Copelatus</i> sp. <i>Desmopachria variegata</i> <i>Hydaticus</i> sp. <i>Hydrovatus</i> sp. <i>Laccophilus pictus pictus</i> <i>Liodessus</i> sp. <i>Rhantus gutticollis</i> <i>Thermonectus basillaris</i> <i>Thermonectus marmoratus</i> <i>Thermonectus</i> sp.
		Gyrinidae	<i>Dineutus truncatus</i>
		Hydrophilidae	<i>Berosus</i> sp. <sup>L</sup> <i>Tropisternus</i> sp. <sup>L</sup>
		Staphylinidae	
	Decapoda	Pseudothelphusidae	<i>Pseudothelphusa morelosis</i>
	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp. <i>Culcoides</i> sp.
		Chaoboridae	<i>Chaoborus</i> sp.
		Empididae	<i>Chelifera</i> sp. <i>Hemerodromia</i> sp.
		Muscidae	<i>Limnophora</i> sp.
		Tabanidae	<i>Tabanus</i> sp.
	Hemiptera	Belostomatidae	<i>Belostoma</i> sp.
		Corixidae	<i>Graptocorixa</i> sp.
		Gerridae	<i>Aquarius</i> sp. <i>Limnogonus</i> sp. <i>Limnopus</i> sp. <i>Trepobates</i> sp.
		Hebridae	<i>Hebrus</i> sp. <i>Lipogomphus</i> sp. <i>Merragata</i> sp.
		Hydrometridae	<i>Hydrometra</i> sp.
		Macroveliidae	<i>Macrovelia</i> sp.
		Naucoridae	<i>Ambrysus</i> sp. <i>Pelocoris</i> sp.
		Notonectidae	<i>Notonecta</i> sp. <i>Martarega</i> sp.
	Hemiptera	Ochteridae	<i>Ochterus</i> sp.
		Saldidae	<i>Saldula</i> sp.
		Veliidae	<i>Microvelia</i> sp. <i>Rhagovelia</i> sp.
	Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalus texanus</i> <i>Chloronia mexicana</i>

Cuadro 9. *Continuación.* Los Grupos Funcionales Alimenticios de los MID en la microcuenca Coaxitlán.

Grupo Funcional Alimenticio (GFA's)	Orden	Familia	Especie			
Depredadores (Dep)	Odonata	Aeshnidae	<i>Aeshna</i> sp.			
		Calopterygidae	<i>Haeterina americana</i>			
		Coenagrionidae	<i>Argia extranea</i>			
			<i>Enallagma civile</i>			
		Gomphidae	<i>Phyllogomphoides pacificus</i> <i>Phyllogomphoides</i> sp. <i>Progomphus</i> sp.			
		Libellulidae	<i>Miathyria marcella</i> <i>Perithemis intensa</i> <i>Perithemis</i> sp.			
			Lestidae	<i>Archilestes grandis</i>		
Platystictidae	<i>Paleamnema desiderata</i> <i>Paleamnema domina</i>					
Colectores-Recolectores (Col-Rec)	Coleoptera	Elmidae	<i>Heterelmis</i> sp. <i>Hexacylloepus apicalis</i> <i>Macrelmis leonilae</i> <i>Microcyllloepus inaequalis</i> <i>Phanocerus clavicornis</i>			
			Hydrophilidae	<i>Berosus hoplites</i> <i>Berosus moerens</i> <i>Berosus rugulosus</i> <i>Tropisternus clybeus</i> <i>Tropisternus ellipticus</i>		
				Limnichidae		
				Diptera	Chironomidae	<i>Pentaneura</i> sp.
					Dixidae	<i>Dixella</i> sp.
	Ephydriidae					
	Psychodidae	<i>Pericoma</i> sp.				
	Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i> sp.				
	Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp.				
	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Callibaetis</i> sp. <i>Camelobaetidius</i> sp.			
		Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i> sp. <i>Tricorythodes</i> sp.			
		Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i> sp. <i>Traverella</i> sp.			
	Colectores-Filtradores (Col-Fil)	Diptera	Culicidae	<i>Aedes</i> sp. <i>Culex</i> sp.		
Simuliidae			<i>Simulium</i> sp.			
Ephemeroptera		Leptophlebiidae	<i>Traverella</i> sp.			
Ostracoda						
Trichoptera		Hydropsychidae	<i>Leptonema</i> sp. <i>Cheumatopsyche</i> sp.			
		Philopotamidae	<i>Chimarra</i> sp. <i>Wormaldia</i> sp.			
	Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i> sp.				

Cuadro 9. *Continuación.* Los Grupos Funcionales Alimenticios de los MID en la microcuenca Coaxitlán.

Grupo Funcional Alimenticio (GFA's)	Orden	Familia	Especie	
<b>Herbívoros (Her)</b>	Amphipoda	Gammaridae	<i>Hyallela azteca</i>	
	Basommatophora	Planorbidae		
	Coleoptera	Curculionidae		
		Hydrophilidae	<i>Enochrus sharpi</i> <i>Helochares normatus</i> <i>Paracymus</i> sp.	
		Scirtidae	<i>Scirtes</i> sp.	
	Mesogastropoda	Hidrobiidae	Morfo 1 Morfo 2	
	Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i> sp. <i>Ochrotrichia</i> sp. <i>Oxyethira</i> sp.	
		Leptoceridae	<i>Nectopsyche</i> sp.	
Unionoida	Unionidae			
<b>Desmenuzadores (Des)</b>	Isopoda	Asellidae	<i>Asellus</i> sp.	
	Coleoptera	Lutrochidae	<i>Lutrochus</i> sp. 1 <i>Lutrochus</i> sp. 2 <i>Lutrochus</i> sp. 3	
	Diptera	Tipulidae	<i>Tipula</i> sp. 1 <i>Tipula</i> sp. 2	
	Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Stactobiella delira</i>	
Limnephilidae				
	Odontoceridae			
Haplotaxida	Tubificidae			
<b>Raspadores (Ras)</b>	Coleoptera	Hydraenidae	<i>Ochtebius</i> sp.	
		Hydroscaphidae	<i>Hydroscapha natans</i>	
		Psephenidae	<i>Dicranopselaphus</i> sp. <i>Psephenus</i> sp.	
		Scirtidae	<i>Elodes</i> sp. <i>Microcara</i> sp.	
	Diptera	Psychodidae	<i>Maruina</i> sp.	
	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes</i> sp.	
	Lepidoptera	Crambidae	<i>Petrophila</i> sp.	
	Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Dibusa</i> sp. <i>Leucotrichia</i> sp.	
	Molannidae			

**8.9 Variación espacio-temporal y por tipo de hábitat acuático de los GFA's.** En la zona de la cabecera o parte alta de la microcuenca Coaxitlán, en la E1, se registraron cinco GFA's, dominando la estructura trófica del río temporal *La Huixilera*, los Depredadores con valores por arriba del 83 % en un hábitat que se forma por escurrimientos en la época de lluvias y de charcas pequeñas que se van secando paulatinamente hasta desaparecer en época de secas (Figura 16).

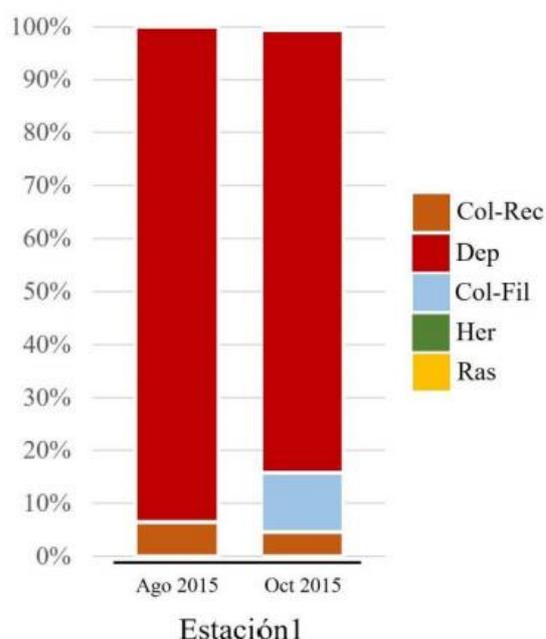


Figura 16. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en la Estación (E1), hábitat río temporal La Huixilera en la zona de la cabecera o parte alta de la microcuenca Coaxitlán.

En la zona de captación y transporte o parte media, en las E2 y E3, se registraron seis GFA's, dominando la estructura trófica del río intermitente *Agua Salada*, los Colectores-Recolectores con valores por arriba del 47 % en un hábitat que lleva corriente durante la época de lluvias y en donde se forman pozas amplias que se van restringiendo paulatinamente conforme la época de secas seguidas de tramos con el lecho del río seco (Figura 17).

En la zona de emisión o parte baja, en la E4, se registraron cinco GFA's, dominando la estructura trófica del río perenne *Agua Salada*, los Colectores-Recolectores con valores por arriba del 39 % en un hábitat que tiene su origen de aportación de agua en el manantial *Poza Azul*, al que se le suman varios veneros y escorrentías por ambas márgenes que dan la permanencia y continuidad a la corriente del río (Figura 18).

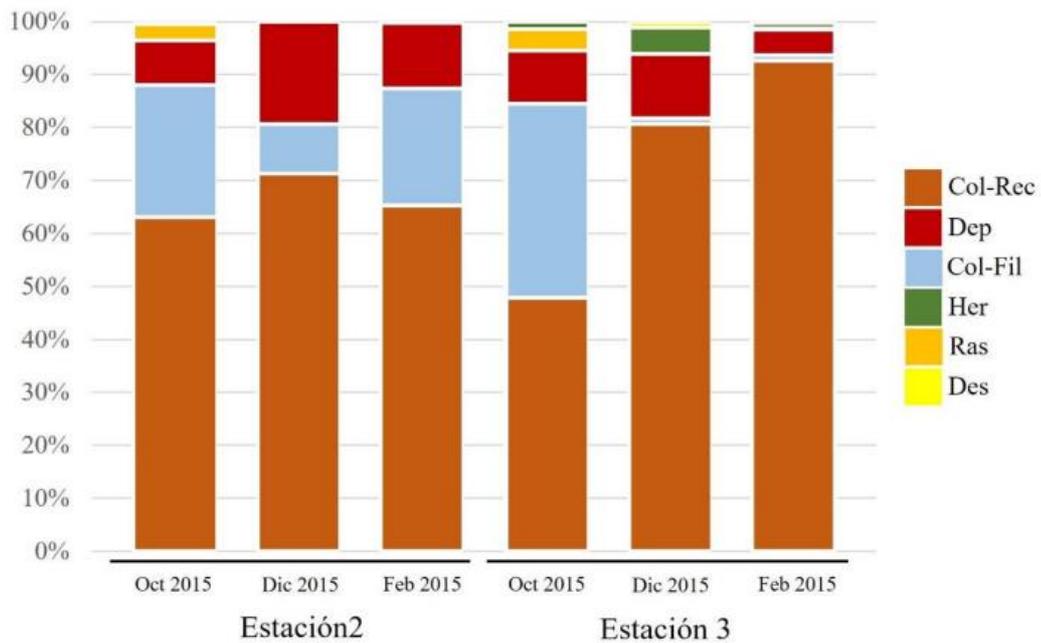


Figura 17. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en las estaciones 2 y 3 (E2 y E3), hábitat río intermitente *Agua Salada* en la zona de captación y transporte o parte media de la microcuenca *Coaxitlán*.

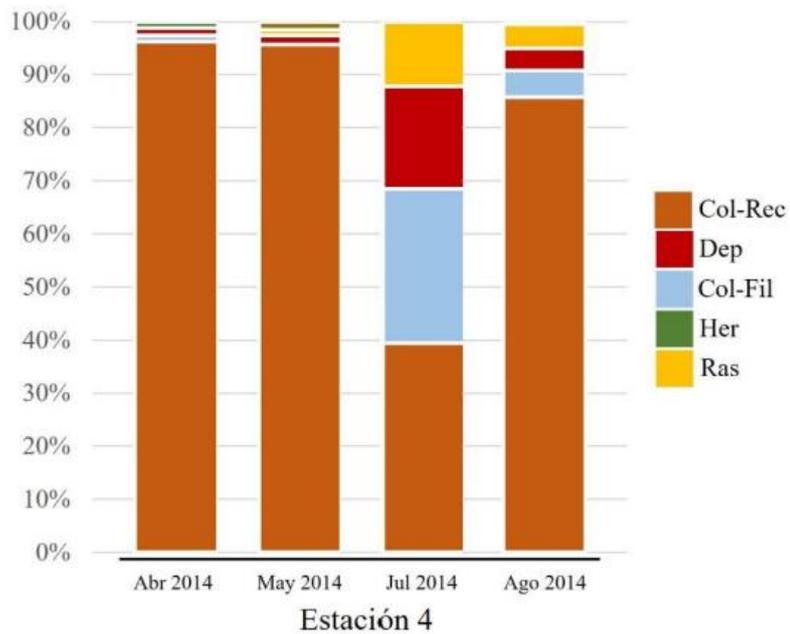


Figura 18. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en la estación 4 (E4), hábitat río perenne *Agua Salada*, a partir del manantial *Poza Azul* en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca *Coaxitlán*.

En la zona de emisión o parte baja que cubre las E5 y E6, se registraron cinco y seis GFA's respectivamente, dominando la estructura trófica del río perenne, los Colectores-Recolectores con valores por arriba del 42 % en un hábitat que presenta una combinación de sustrato de cantos rodados, gravas y arenas en el lecho del río (Figuras 19 y 20).

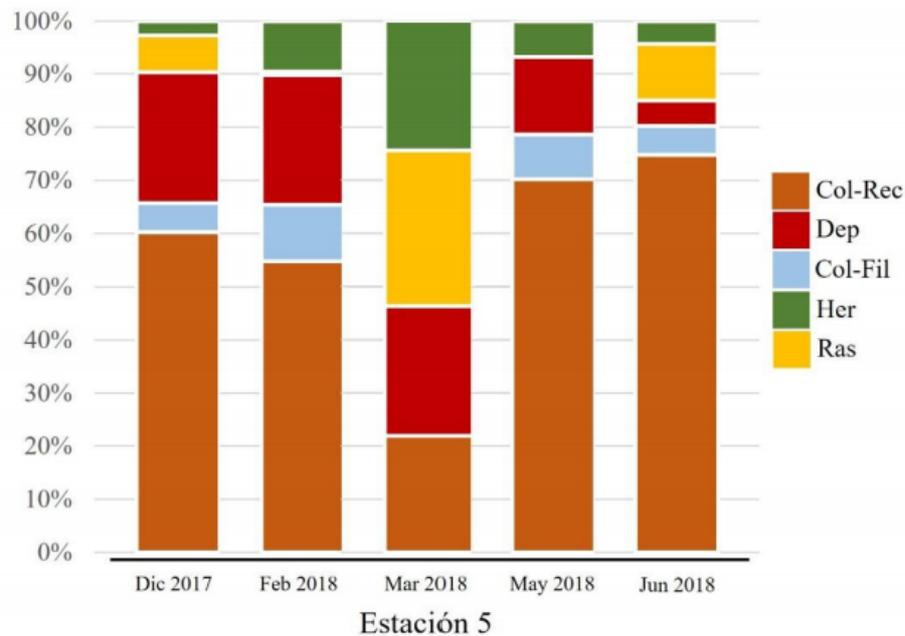


Figura 19. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en la estación 5 (E5), hábitat río perenne *Agua Salada*, en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca *Coaxitlán*.

En la zona de emisión o parte baja, en las E7 y E8, se registraron seis y cuatro GFA's respectivamente, dominando la estructura trófica del río perenne, los Colectores-Recolectores con valores por arriba del 51 % en un hábitat que presenta anhidrita como principal sustrato en el lecho del río y que está cercano a la desembocadura con el río Amacuzac (Figuras 21 y 22).

De esta manera, en la microcuenca de *Coaxitlán* se registró un ensamble y una composición amplia y heterogénea de GFA's de MID, que indica el carácter heterotrófico del río *Agua Salada*, destacándose de otros hábitats acuáticos en el estado de Morelos, por contar con un mayor registro en el número de especies por cada GFA's (Cuadro 10).

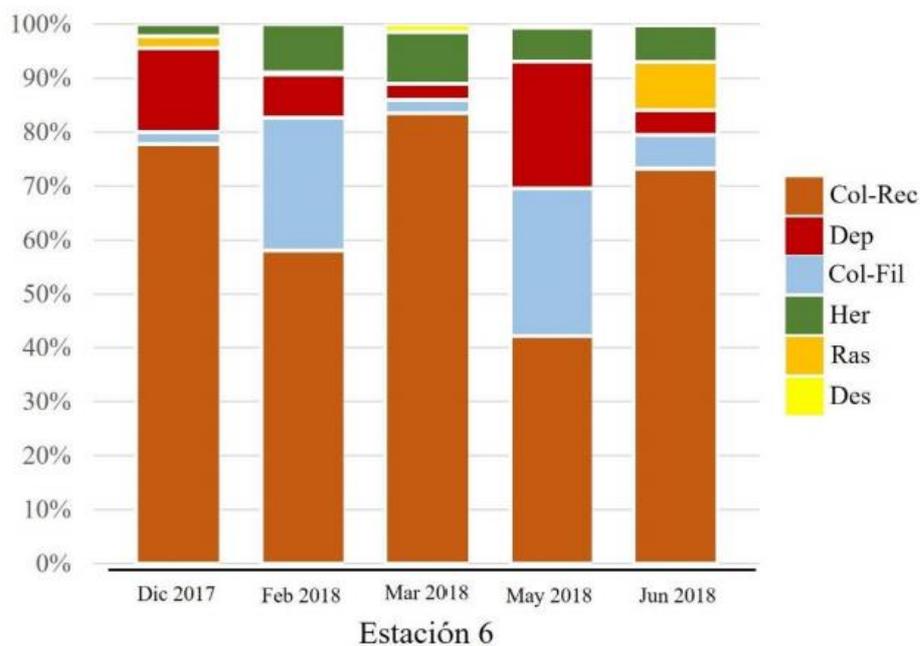


Figura 20. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en la estación 6 (E6), hábitat río perenne Agua Salada, en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca Coaxitlán.

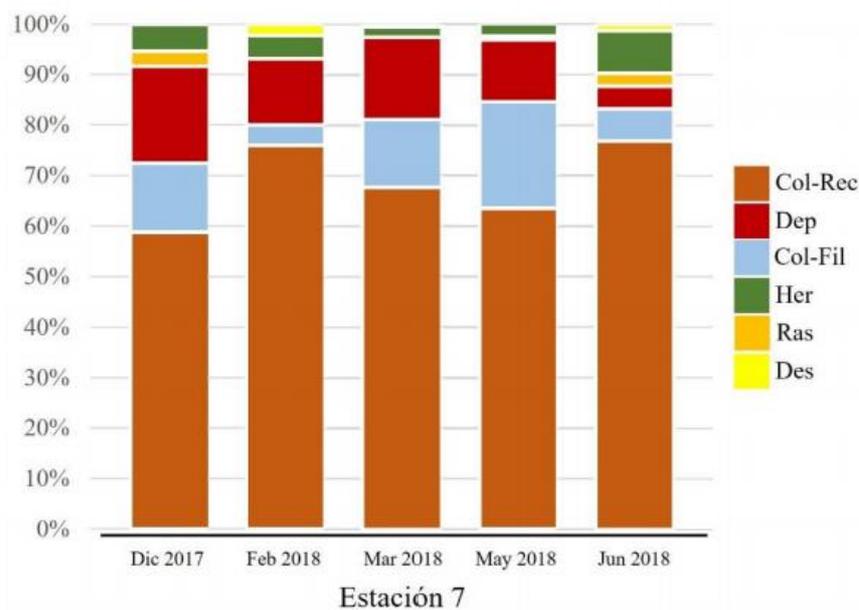


Figura 21. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en la estación 7 (E7), hábitat río perenne Agua Salada, cercano a la desembocadura del río Amacuzac en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca Coaxitlán.

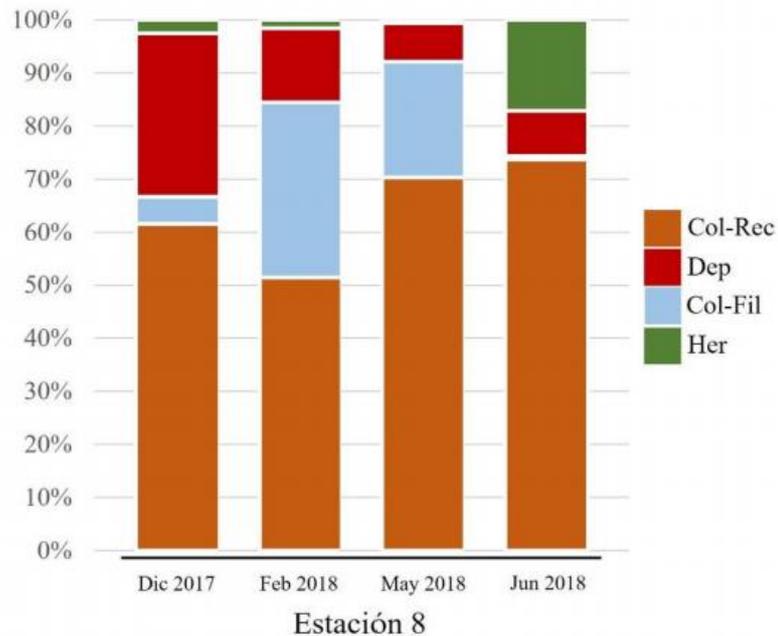


Figura 22. Variaciones en la composición porcentual de los GFA's de los MID en la estación 8 (E8), hábitat río perenne *Agua Salada*, cercano a la desembocadura del río Amacuzac en la zona de emisión o parte baja de la microcuenca *Coaxitlán*.

Cuadro 10. Número de especies y GFA's dominantes en varios tipos de hábitats acuáticos en el estado de Morelos, según referencias históricas.

Tipo de hábitat	GFA's	Número de especies	GFA's dominante	Referencias históricas
Río Amacuzac, perenne	1. Depredadores 2. Colectores-Recolectores 3. Raspadores 4. Colectores-Filtradores 5. Desmenuzadores	48 19 16 10 4	Colectores-Recolectores	Montes, 2003
Arroyo de montaña <i>Las Trancas</i> perenne	1. Depredadores 2. Colectores-Recolectores 3. Desmenuzadores 4. Raspadores 5. Herbívoros 6. Colectores-Filtradores	14 10 8 5 5 4	Raspadores	Benítez, 2006
Arroyo <i>Quilamula</i> intermitente, Charca temporal y Presa <i>Cruz Pintada</i> perenne	1. Depredadores 2. Colectores-Recolectores 3. Colectores-Filtradores 4. Herbívoros 5. Desmenuzadores 6. Raspadores	41 15 6 6 3 1	Depredadores	Bobadilla, 2015
Arroyo <i>La Huixilera</i> Río <i>Agua Salada</i> intermitente y perenne	1. Depredadores 2. Colectores-Recolectores 3. Herbívoros 4. Raspadores 5. Colectores-Filtradores 6. Desmenuzadores	60 23 14 12 11 10	Colectores-Recolectores	Este trabajo

Por otra parte, los Colectores-Recolectores que procesan materia orgánica fina fue el GFA's dominante en todos los hábitats acuáticos y en las tres zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán*. Esto indica que existe un flujo continuo de materia orgánica alóctona que “entra” de la selva y de la vegetación riparia hacia estos hábitats acuáticos temporales, intermitentes y perennes en forma hojas, ramas, troncos y por materia orgánica autóctona que proviene de los desechos de otros organismos acuáticos como peces y por la descomposición de plantas acuáticas, que viajan y se depositan mediante la influencia de la velocidad de la corriente y queda a la disposición y aprovechamiento por este tipo de organismos (Cummins *et al.*, 2008 y Cummins, 2018).

Esto ocurre en otros ecosistemas fluviales del estado de Morelos como en el río Amacuzac, en donde en la cabecera (49 %), talud (61 %) y planicie (60 %) el GFA's dominante fue el de los Colectores-Recolectores (Montes, 2003), sin embargo, este ecosistema presenta una fuerte presión por cambios de usos del suelo que provoca la entrada de una gran cantidad de materia orgánica de origen antrópico (Sandoval *et al.*, 2012) que marca una diferencia con el río *Agua Salada*.

Las variaciones porcentuales de tiempo y espacio de los GFA's, podrían explicarse por los siguientes aspectos: *i*) Los Depredadores, que incluye a los cazadores activos, acechadores y tramperos, dependen de sus estrategias de ataque y de la interacción con sus presas, que responden con estrategias antidepredatorias que incluyen la forma, tamaño, color, camuflajes, número, tipos de microhábitats, sustratos, reducción de movimiento, locomoción, refugio, posición de ataque, deflección y agrupación, entre otras (Quiróz *et al.*, 2000).

En el caso de la EI en la zona funcional de la cabecera o parte alta de la microcuenca *Coaxitlán*, en donde se registró el dominio de los Depredadores con valores por arriba del 83 %, coincidió con lo reportado en otros hábitats acuáticos de la Selva Baja Caducifolia, que presentaron registros porcentuales del 55 % en una charca temporal y del 43 % en el Arroyo Quilamula de régimen intermitente (Bobadilla, 2015). estableciéndose una estructura trófica definida por la biología y conducta de las especies, es decir, por las distintas estrategias para depredar de manera pasiva o activa, por su gran voracidad y el canibalismo. Estas conductas las presentan las larvas de odonatos y escarabajos ditíscidos, así como las ninfas y adultos de hemípteros que

provocan ensambles directos entre depredadores sobre depredadores en este tipo de hábitats acuáticos (Alcocer, 2016).

ii) Los registros de los Herbívoros fueron variables, en algunos muestreos puntuales estuvieron ausentes, y presentaron un valor mínimo de 0.4 % y un máximo de 24.3 %. Estas formas de vida procesan materia orgánica gruesa aprovechando el tejido vegetal para alimentarse, y su presencia depende principalmente de las algas filamentosas, plantas acuáticas enraizadas de las márgenes y de las libres flotadoras (Quiróz *et al.*, 2006b).

iii) Los registros de los Raspadores fueron variables, en varios muestreos puntuales estuvieron ausentes, y presentaron un valor mínimo de 0.05 % y un máximo de 29.2 %. Estas formas de vida procesan materia orgánica gruesa y se alimentan principalmente de microalgas que se desarrollan sobre la vegetación acuática (epifiton), adheridas al sustrato rocoso (epiliton) y entre el sustrato conformado por gravas y arenas (episamon) (Benítez, 2006).

iv) Las variaciones en los registros de los Desmenuzadores fueron marcadas, con ausencia en la E1, E4, E5 y E8 y con valores porcentuales más bajos de todos, con un mínimo de 0.2 % y un máximo de 2.2 %. Estas formas de vida también procesan materia orgánica gruesa y aprovechan el depósito de materia orgánica en forma de detritos que se acumula en lechos de hojarasca, raíces sumergidas, vegetación y rocas entre otros microhábitats para fragmentarla en partículas más pequeñas (Cummins *et al.*, 2008 y Cummins, 2018). Se considera que su escaso número de especies, su ausencia en varias estaciones y sus bajos valores porcentuales a lo largo de toda la microcuenca, pudieran indicar cierta “vulnerabilidad” si ocurriera algún cambio en la estructura física, química y biológica en estos hábitats acuáticos.

v) Los registros de los Colectores-Filtradores fueron variables, en algunos muestreos puntuales estuvieron ausentes, y presentaron un valor mínimo de 0.7 % y un máximo de 36.6 %. Estas formas de vida procesan materia orgánica fina y se alimentan de las partículas que viajan en suspensión y dependen estrechamente de la velocidad y caudal de la corriente (Cummins *et al.*, 2008 y Cummins, 2018).

**8.10 Propuesta de un modelo gráfico y descriptivo de los GFA's de los MID de acuerdo con las zonas funcionales de la microcuenca Coaxitlán.** La idea de presentar la sucesión de los GFA's de los MID a una escala de microcuenca, fue para amplificar el contexto del estado ecológico e hidrológico de esta zona poniente del área natural protegida de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, y crear un antecedente de su estado de conservación.

A continuación, se describe la siguiente sucesión para la cabecera o zona alta de la microcuenca con el dominio en la E1 de los Depredadores con un valor porcentual del 88 %, y sucediéndose en la E2, por el de los Colectores-Recolectores con un valor de 66 %. En el talud o zona media se presentó en la E3 el dominio de los Colectores-Filtradores con un valor de 73% y sucediéndose en la E4, por el de los Colectores-Recolectores con un 79 %. Finalmente, en la planicie o zona baja, se registraron únicamente valores altos para los Colectores-Recolectores en todas las estaciones, de tal forma que en E5 se registró un 56 %, en la E6 el 66 %, en la E7 el 54 %, y en la E8 el 51% (Figura 23).

Fue notorio el dominio de los Colectores-Recolectores en todas las zonas funcionales la microcuenca, que indicaron que el río está sujeto a la continua entrada y descomposición de la materia orgánica gruesa que se deposita en el fondo y que es aprovechada por estos organismos. Sin embargo, la estructura y función de esta comunidad cambió en la E1 donde las condiciones ecológicas e hidrológicas son totalmente distintas a las demás estaciones registrándose el dominio de especies Depredadoras, mientras que, en la E3, los Colectores-Filtradores indicaron que esta materia orgánica fina viaja en suspensión el agua que les permite filtrarla y así asegurar su establecimiento y dominio.

La descripción de esta sucesión de los GFA's, permitió caracterizar al río *Agua Salada* como un ecosistema heterotrófico, donde continuamente recibe aportación de materia orgánica proveniente de la selva baja caducifolia, introduciendo restos vegetales como hojas, ramas, troncos y frutos, que viajan, se depositan y se descomponen a lo largo de su recorrido hasta el río Amacuzac.

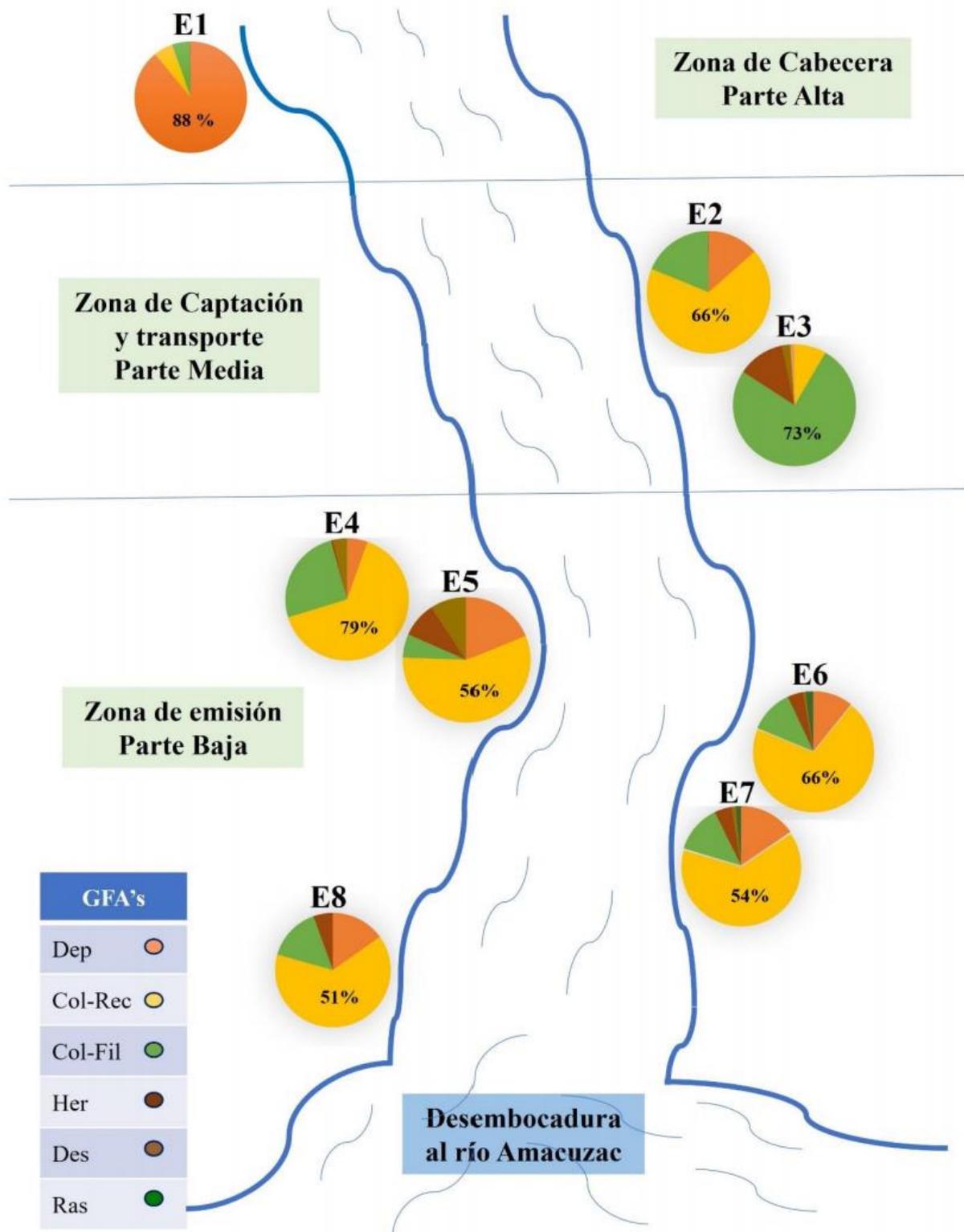


Figura 23. Propuesta gráfica y descriptiva de las variaciones de los GFA's de los MID de acuerdo con las zonas funcionales de la microcuenca *Coaxitlán*.

Estos resultados coinciden con el modelo del *rio continuum* propuesto por Vannote *et al.*, (1980), en donde señalaron que el GFA dominante en un río es el de los Colectores incluyendo a los Recolectes y Filtradores que en sus zonas altas y medias dominan hasta en un 50 %, y en las zonas bajas por arriba del porcentaje mencionado. Estas variaciones del modelo del *rio continuum* son dependientes de variables hidrológicas como la distancia del recorrido del río, sus tributarios, el flujo del agua, la velocidad de la corriente y la anchura del río, y así mismo, de variables ecológicas como la presencia y cobertura de la vegetación riparia y de los tipos de vegetación de los ecosistemas terrestres circundantes.

El río *Agua Salada* es corto, poco profundo, que nace de manantiales ascendentes y descendentes con altas concentraciones de sales y que confluye con el río Amacuzac. Presenta variaciones en su flujo del agua por la estacionalidad, es decir, sus valores más bajos en la época de secas y los más altos en la de época de lluvias, cuando se registran avenidas contantes, y así mismo, con registros de una buena calidad del hábitat acuático y ripario.

## 9. CONCLUSIONES

1. Se realizó por primera vez un listado de los MID en el río *Agua Salada* que permitió hacer un análisis en las tres zonas funcionales de la microcuenca de *Coaxitlán*.
2. La riqueza de los MID fue alta con respecto a otros ecosistemas fluviales del estado de Morelos y presentó variaciones espaciales, registrándose un recambio de especies y de transición entre la zona de captación y transporte (media) y la zona de emisión (baja) de la microcuenca.
3. La abundancia presentó variaciones espaciales, registrando los valores más altos o de productividad en la zona de captación y transporte (media) y la zona de emisión (baja) de la microcuenca, así mismo, una variación temporal con variaciones máximas y mínimas durante las dos épocas del año por las que atraviesa el ecosistema de la selva seca, es decir, en secas y lluvias.

4. La diversidad temporal y espacial de los MID fue alta a lo largo de todo el río. Los valores altos de la diversidad alfa sugieren estar en relación con la buena calidad del hábitat acuático y ripario que ha sido registrada.

5. La diversidad beta sugiere un recambio de las especies de los MID en las tres zonas funcionales del río, específicamente entre la zona de captación y transporte (media) y la zona de emisión (baja). Así mismo, se estableció la similitud entre la composición de las especies en las estaciones de la zona de emisión (baja) del río.

6. Se realizó por primera vez un listado de los GFA's de los MID en el río *Agua Salada* que permitió hacer un análisis en las tres zonas funcionales de la microcuenca de *Coaxitlán*.

7. La riqueza de los GFA's de los MID fue alta con respecto a otros ecosistemas fluviales del estado de Morelos, y presentó variaciones espaciales, registrándose un recambio de especies y de transición entre las tres zonas funcionales de la microcuenca.

8. El recambio de especies de los MID en las tres zonas funcionales del río sugiere los distintos cambios geomorfológicos y ecológicos que influyen en la heterogeneidad que se presenta a lo largo del río, y que permite el establecimiento de las distintas comunidades de MID.

9. La alternancia en el dominio de los GFA's de los MID, depredadores en la zona de cabecera (alta), colectores-recolectores y colectores filtradores en la zona de captación y transporte (media), y colectores-recolectores en la zona de emisión (baja), sugieren que el flujo energético en el río está dado por las relaciones intraespecíficas de las especies y por el aprovechamiento del material alóctono proveniente de la selva seca hacia el río.

10. Se propone un modelo gráfico que describió la sucesión y alternancia de los GFA's de los MID en el río *Agua Salada* y un análisis con relación de sus tres zonas funcionales, mismo que puede seguir siendo monitoreado para conocer los cambios a futuro de este ecosistema fluvial.

## 10. LITERATURA CITADA

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. y Prat, N. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica* 28(1):35-64.
- Alba-Tercedor, J. y Sánchez-Ortega, A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica* 4:51-56.
- Alcocer, R. M. 2016. Diversidad y ecología de los insectos acuáticos de Arroyo Agua Salada, Morelos-Guerrero, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 64 p.
- Alonso-EguíaLis, P., Pineda-López, R. y Pérez-Munguía, R. 2014. México. pp. 293-346. *En*: Alonso-EguíaLis, P., Mora, J. M., Campbell, B. y Springer, M. (Eds.). Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, México.
- Armitage, P., Moss, D. D., Wright, J. F. y Furse, M. T. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. *Water Res.* 3(17):333-347.
- Arriaga, L., Aguilar, V. y Alcocer, J. 2002. Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 327 p.
- Avilez, A. F. C. 2023. Índice de Integridad Biótica con Macroinvertebrados Acuáticos en ríos del Alto Balsas (IIBAB). Tesis de Maestro en Ciencias y Tecnología del Agua (Sistemas Ambientales). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. 94 p.
- Barba-Álvarez, R., de la Lanza-Espino, G., Contreras-Ramos, A., y González-Mora, I. 2013. Insectos acuáticos indicadores de calidad del agua en México: casos de estudio, ríos Copalita, Zimatán y Coyula, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 381-383.
- Baker, S. C. y Sharp, H. F. 1998. Evaluation of the recovery of a polluted urban stream using the Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera index. *Journal of Freshwater Ecology* 2(13):229-234.
- Barbout, T. M., Gerritsen, J. y White, S. J. 1996. Development of the stream condition index (SCI) for Florida. Stormwater and nonpoint source management section. Florida Department of Environmental Protection. Florida, USA. 45 p.
- Barbout, T. M., Gerritsen, J., Snyder, B. D. y Stribling, J. B. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C. Manuscrito.

- Benítez, H. M. 2006. Aspectos ecológicos de los macroinvertebrados del arroyo “Las Trancas” en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 56 p.
- 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. Cuernavaca. México. 75 p.
- Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H. y Statzner, B. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Ann. Rev. Entomol.* 51:495-523.
- Brug, A. B. 2005. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la zona litoral en la época de secas en el lago Tonatiahua, Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 47 p.
- Bueno, S. J. y López, A. J. B. 1975. Evaluación de la calidad del agua de dos corrientes en México mediante el uso de la fórmula de diversidad de Whilm y Dorris. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 36: 147-156.
- Bueno, S. J., López, A. J. B. y Márquez, M. C. 1981. Consideraciones preliminares sobre la ecología de los insectos acuáticos del río Lerma. *Ann. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nac. Autón. México* 8(1): 175-182.
- Bueno-Soria, J., Padilla, J. y Rivera, M. 1981. Observations on the longitudinal distribution of Trichoptera larvae in a stream at Zempoala, México. *Serie Entomologica* 20: 33-38.
- Cairns, J. y Dickson, K. L. 1971. A simple method for the biological assessment of the effects of waste discharges on aquatic bottom-dwelling organisms. *Journal WPCF* 43(5):755-772.
- Camara, I. A., Kra, M. K., Kouadio, N. K., Konan, M. K., Edia, E. O., Doumbia, L., Ouattara, A. y Diomande, D. 2020. Composition, structure and functional feeding of aquatic entomofauna in Kodjoboué lake: water quality assessment. *Open Journal of Ecology*. 10:160-176.
- Campos-Cervantes, V., Pérez-Munguía, R. y Pineda-López, R. 2007. Patrones del establecimiento de las asociaciones de macroinvertebrados acuáticos en los manantiales cársticos de la Huasteca Mexicana. *Biológicas* (9): 87-95.
- Carrera, C. y Fierro, K. 2001. Manual de monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Eco Ciencia. Quito, Ecuador. 67 p.
- Cummins, K. W. 1975. Macroinvertebrates. In: Whitton, B. A. (Ed.) *River Ecology*. Blackwell Sci. Pub. London, England. pp. 170-198.

- Cummins, K. W., Merritt, R. W. y Berg, M. B. 2008. Ecology and distribution of aquatic insects. pp. 105-122. *In*: Merritt, R. W., Cummins, K. W. y Berg, B. (Eds). An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt Pub. Com. Dubuque, Iowa. USA.
- Cummins, K. W. 2018. Functional Analysis of Stream Macroinvertebrates (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>).
- De Souza, R. N. M. y Aguilar, S. E. 2022. Influencia de factores ambientales en la composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y grupos funcionales alimenticios en tres sectores de la Cuenca del río Chillón (Lima). Tesis para optar el Título de Licenciada en Biología. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima, Perú. 129 p.
- Díaz, M. 1995. Biomonitoring en sistemas lénticos: el uso de especies indicadoras. *Zoología Informa* 31: 17-35.
- Díaz, R. C. A., Motta-Díaz, A. J. y Aranguren-Riaño, N. 2020. Estudio de la diversidad taxonómica y funcional de los macroinvertebrados en un río de montaña Andino. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.)* 68(S2):132-149.
- Dorado O., Maldonado, B., Arias, D. M., Sorani, V., Ramírez, R., Leyva, E. y Valenzuela, D. 2005. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. CONANP-SEMARNAT. 202 p.
- Elosegi, A., Butturini, A. y Armengol, J. 2009. El caudal circundante. pp. 51-69. *En*: Elosegi, A. y Sabater, S. (Eds). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA. Bilbao, España.
- Encalada, A. C., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N. y Prat, N. 2011. Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S). USFQ, UB, AECID, FONAG. Quito, Ecuador. 83 p.
- Environmental Protection Agency. 2001. Use of biological information to better define designated aquatic life uses in state and tribal WQS: tiered aquatic life uses (EPA-822-R-05-001). Manuscrito.
- Fernández, V. E. (sin publicar). Evaluación de la calidad del hábitat acuático a través de algunos protocolos de monitoreo con macroinvertebrados dulceacuícolas en la microcuenca Coaxitlán, Morelos-Guerrero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Fierro, P., Bertrán, C., Mercado, M., Peña-Cortés, F., Tapia, J., Hauenstein, E. Caputo, L., y Vargas-Chacoff, L. 2015. Landscape composition as a determinant of diversity and functional feeding groups of aquatic macroinvertebrates in southern rivers of the Araucanía, Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 43(1):186-200.

- Flores, A. M. O. 2013. Las familias Elmidae, Dytiscidae e Hydrophilidae (Coleoptera) como indicadores de la calidad del hábitat en el río Amacuzac, Morelos-Guerrero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 93 p.
- Gallegos, N. I. 2021. Odonata como indicadora de la calidad del hábitat acuático en la selva seca de la microcuenca de Coaxitlán, Morelos-Guerrero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 192 p.
- Gamboa, M., Reyes, R. y Arrivillaga, J. 2008. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. Boletín de Malariología y Salud Ambiental XLVIII(2):109-120.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Ed. Larrios, México, 150 p.
- García, C. J. 1985. Utilización del plancton como herramienta para el conocimiento de la calidad del agua en la cuenca del Alto Amacuzac, estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 91 p.
- García, C. J. 1991. Evaluación de la calidad del agua de los ríos Apatlaco, Yauatepec y Cuautla estado de Morelos, utilizando indicadores biológicos de contaminación. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 136 p.
- García, J. M. J. 1996. Utilización de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua de los ríos Apatlaco y Yauatepec, estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 95 p.
- García, R. C. I. 2007. Diversidad de insectos acuáticos del bosque mesófilo de montaña en Tlanchinol, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías. México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. 66 p.
- Georgia Adopte-un-Arroyo. 2004. Muestreo visual de arroyos. Department of Natural Resources Environmental Protection Division. U.S.A. 71 p.
- Grimaldo, V. W. Y. 2004. Aspectos tróficos y ecológicos de los macroinvertebrados acuáticos. Ecological Explorers 1(1):1-7.
- Gutiérrez, M. F. 2006. Variación espacial y temporal de los macroinvertebrados del lago de Zempoala en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 52 p.
- Gutiérrez-López A., Meza-Salazar A. M. y Guevara. G. 2016. Descomposición de hojas y colonización de macroinvertebrados acuáticos en dos microcuencas tropicales (Manizales, Colombia). Hidrobiológica. 26(3):347-357.

- Gómez, M. E. B. 2018. Análisis de la calidad del hábitat y del agua con macroinvertebrados dulceacuícolas en la microcuenca Coaxitlán, limítrofe entre los Estados de Morelos y Guerrero. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 80 p.
- Hanson, P., Springer, M. y Ramírez, A. 2010. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Rev. Biol. Trop.* 58(Suppl. 4):3-37.
- Hawkes, H. A. 1978. Invertebrates as indicators of river water quality. pp. 1-45. *In: James, A. and Evison, L. (Eds.). Biological indicators of water quality. John Wiley and Sons. USA.*
- Hernández, E. A. A. 2013. Estado actual del conocimiento del orden Odonata (Insecta) del Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 87 p.
- Hernández, G. C. 2017. Los insectos acuáticos como indicadores de contaminación del río Cuautla, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 47 p.
- Hilsenhoff, W. L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J. North Am. Benthological Soc.* 7(1):65-68.
- Horton, R. E. y Strahler, E. 1945. Erosional development of stream and their drainage basing: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society Bulletin.* 56:275-330.
- Huerto, D. R. I. 1988. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua del río Cuautla, estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 48 p.
- Hurtado, S., García-Trejo, F. y Gutiérrez-Yurrita, P. J. 2005. Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del río San Juan, Querétaro, México. *Folia Entomol. Mex.* 44(3):271-286.
- Huryn, A. D., Wallace, J. B. y Anderson, N. H. 2008. Habitat, life history, secondary production and behavioral adaptations of aquatic insects. pp. 55-104. *In: Merritt, R. W., Cummins, K. W. y Berg, B. (Eds). An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt Pub. Com. Dubuque, Iowa. USA.*
- Jacobsen, D., Cressa, C., Mathooko, J. M. y Dudgeon, D. 2008. Macroinvertebrates: composition, life histories and production. pp. 65-105. *In: Dudgeon, D. (Ed). Tropical Stream Ecology. Elsevier, Inc.*
- Johnson, R. K., Wiederholm T. y Rosenberg, D. N. 1993. Fresh water biomonitoring using individual organisms, populations and species assemblages of benthic macroinvertebrates.

- pp. 41-157. *In*: Rosenberg, D. M. y Resh, V. H. (Eds). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall. USA.
- Jost, L. y Cultid-Medina, C. A. 2016. Índices de bioindicación, índices de entropía y medidas de diversidad: ¿Cuál es el grado de consistencia entre estas tres aproximaciones de análisis en estudios de impacto ambiental con macroinvertebrados acuáticos?. pp. 21-23. Resúmenes del Tercer Congreso Latinoamericano de Macroinvertebrados de Agua Dulce, Biodiversidad, y ecología funcional en el Neotrópico. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
- Juárez, F. J. y Ibáñez, A. A. L. 2003. Abundancia y primer registro de macroinvertebrados bentónicos en el lago de Metztitlán, Hidalgo, México. *Hidrobiológica* 13(2):137-144.
- Khan, K. R. 1983. Biological indicators and indices of water quality. pp. 198-208. *In*: Varshney, C. V. (Ed.). Water pollution and management. Wiley Eastern Limited. New Delhi. India.
- Krebs, C. J. 1999. Ecological methodology. Addison-Welsey Educational Pub. USA. 620 p.
- Ladrera, R., Rieradevall, M. y Prat, N. 2013. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Ikastorratza*. e-Revista de Didáctica 11, retrieved 2013/12/20 from [http://www.ehu.es/ikastorratza/11\\_alea/macro.pdf](http://www.ehu.es/ikastorratza/11_alea/macro.pdf) (ISSN:1988-5911).
- Luna, J. G. A. 2017. Propuesta metodológica para establecer sitios de referencia en el trópico seco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 90 p.
- Mafla, H. M. 2005. Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano Talamanca-Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 86 p.
- Maldonado-Cruz, R., Garza A. R., Rodríguez, C. V.A., González, J. F., Saavedra, R. K. y Robledo, G. V. 2000. Insectos acuáticos como bioindicadores de contaminación en el Río San Martín, Escobedo, Nuevo León. pp 165-169 *En*: Standford C. S., Morales M. A., Padilla R. J. R. e Ibarra G. M. P. (Eds). Memorias del XXXV Congreso Nacional de Entomología. México.
- Márquez, B. L. G. 1986. Los organismos bentónicos como indicadores de la calidad del agua de los ríos Amacuzac y Balsas, Morelos. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 73 p.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Springer-Science/Business Media, B.V. U.K. 178 pp.
- Mathuriau, C., Mercado, S. N., Lyons, J. y Martínez, R. L. M. 2011. Fish and Macroinvertebrates as Freshwater Ecosystem Bioindicators in Mexico: Current State and Perspectives. pp. 251-261. *In*: Oswald, S. U. (Ed.). Water Resources in Mexico: Scarcity, Degradation, Stress, Conflicts, Management and Policy. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Merritt, R. W. y Cummins, K. W. 2017. Trophic relationships of macroinvertebrates. pp. 585-609. *In*: Hauer, F. y Lamberti, G. (Eds.). *Methods in stream ecology*. Academic, Press.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W. Resh, V. H. y Batzer, D. P. 2008a. Sampling aquatic insects: Collection devices, statistical considerations and rearing procedures. pp. 15-38. *In*: Merritt, R. W., Cummins, K. W. y Berg, B. (Eds.). *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall/Hunt Pub. Com. Dubuque, Iowa. USA.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W. y Berg, B. 2008b. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall/Hunt Pub. Com. Dubuque, Iowa. USA. 1158 p.
- Minshall, G. W. 1984. Aquatic insect-substratum relationships. pp. 323-357. *In*: Resh, V. H. y Rosenberg, D. M. (Eds.). *The ecology of aquatic insects*. Praeger Pub. USA.
- Montes, M. E. 2003. Análisis de los grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados y especies indicadoras del río Amacuzac, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 43 p.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza, 84 pp.
- Mundo, O. T. 1985. Impacto ambiental en el ecosistema del río Apatlaco, tramo Zacatepec-Jojutla, Morelos, México. Ciclo 82-83. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 32 p.
- Naranjo, L. J. C. y González, L. D. 2007. El BMWP, un índice biótico promisorio. *Bioriente* 1(1):9-12.
- Ochoa, G. J. F. 2015. Algunos aspectos biológicos y ecológicos de los insectos acuáticos del río Amacuzac, Guerrero-Morelos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 45 p.
- Orozco-Hernández, R. B., Guzmán-Arroyo, M. y Palma-Colín, B. G. 1992. Dípteros acuáticos en la ensenada de San Nicolás, lago de Chapala, Jalisco, México. *Ann. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nac. Autón. México*.
- Pennak, R. W. 1978. *Freshwater invertebrates of the United States*. John Wiley & Sons. New York, USA. 803 p.
- Peralta, L. A., Deloya, C. y Moreno-Casasola, P. 2007. Insectos acuáticos asociados a los lagos interdenarios de la región central del estado de Veracruz, México. *Neotropical Entomology* 36(3):342-355.
- Pérez, M. R. M. y Pineda, L. R. 2005. Diseño de un índice de integridad biótica para ríos y arroyos del centro de México, usando asociaciones de macroinvertebrados. pp 241-245. *En*:

- Morales, M. A., Mendoza, E. A., Ibarra, G. M. P. y Stanford, C. S. (Eds). *Entomología Mexicana* Vol. 4. México.
- Piñón, F. M. A., Pérez, M. R. M., Torres, G. U. y Pineda, L. R. 2014. Integridad biótica de la microcuenca del río Chiquito, Morelia, Michoacán, México, basada en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. *Rev. Biol. Trop.* 62 (Suppl. 2):221-231.
- Pozo, J. y Elosegí, A. 2009. El marco físico: la cuenca. pp. 39-49. *En*: Elosegí, A. y Sabater, S. (Eds). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA. Bilbao, España.
- Prat, N., Alba, T., Pescador, J. M. y Domínguez, E. 1997. Macroinvertebrates and Biological monitoring in South America. *Bulletin of the North American Benthological Society* 14(2):296-298.
- Pujante, M. A. M. 1997. Los artrópodos como bioindicadores de la calidad de las aguas. *Bol. S.E.A.* 20:277-284.
- Quiróz, H., Rodríguez, A., Badii, M. H., Flores, A. E., Solís, C., Trujillo, J. C., Martínez, D. y González, R. M. 2000. Depredación en sistemas acuáticos. pp. 177-185. *En*: Badii, M. H., Flores, A. E. y Galán, W. L. J. (Eds.). *Fundamentos y perspectivas de control biológico*. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Quiróz, M. H., Rodríguez, C. V. A. y Badii, M. H. 2006a. Dinámica de colonización de insectos acuáticos. pp. 27-36. *En*: Quiróz, M. H. y Rodríguez, C. V. A. (Eds.). *Bioindicadores de contaminación en sistemas acuáticos (insectos acuáticos)*. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Quiróz, M. H., Rodríguez, C. V. A. y Valdez, D. K. M. 2006b. Los insectos en el ciclaje y flujo de nutrientes en los sistemas acuáticos. pp. 37-44. *En*: Quiróz, M. H. y Rodríguez, C. V. A. (Eds.). *Bioindicadores de contaminación en sistemas acuáticos (insectos acuáticos)*. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Ramírez, A. 2010. Métodos de recolección. *Rev. Biol. Trop.* 58(Suppl.4):41-50.
- Ramírez, A. y Gutiérrez-Fonseca, P. E. 2014. Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. *Rev. Biol. Trop.* 62 (Suppl. 2):9-20.
- Rio, S. J. C. 2002. Uso de macroinvertebrados bénticos para la evaluación de la calidad del agua del Río Amacuzac, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 73 p.
- Reese, J. J. 2002. *A Guide to Common Freshwater Invertebrates of North America*. McDonald & Woodward Pub. Com. Blacksburg, Virginia. 10 p.
- Rico-Sánchez, A. E., Rodríguez-Romero, A. J., López-López, E. y Sedeño-Díaz, J. E. 2014. Patrones de variación espacial y temporal de los macroinvertebrados acuáticos en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo (México). *Rev. Biol. Trop.* 62 (Suppl. 2):81-96.

- Rodriguez-Capitulo, A., Muñoz, I., Bonada, N., Gaudes, A. y Tomanova, S. 2009. La biota de los ríos: los invertebrados. pp. 253-270. *En*: Elosegí, A. y Sabater, S. (Eds). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA. Bilbao, España.
- Rodriguez, C. A., Armendáriz, L., Siri, A., Altieri, P., Ocon, C., Cortese, B., Rodríguez C. L., Zanotto, A. J. P., Rodríguez, M. y Donato, M. 2020. Caracterización estructural y funcional de los macroinvertebrados en los bañados de desborde fluvial del área pampeana. *Biología Acuática* 35:1-21.
- Roldán, P. G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 23(88):375-387.
- Roldán, P. G. 2012. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Bogotá, Colombia. 148 p.
- Romero-Figueroa, B. A., Carreño, P. A. M., Pimienta, P. V., Pumarejo, C. G. F., Tejada-H. L. M. Castillo-Aguilar, M. A. 2023. Grupos Funcionales Alimentarios de Macroinvertebrados Acuáticos de Caño Baranda en la Reserva Natural El Diamante de las Aguas (Guaviare, Colombia). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas.* 1(35):103-112.
- Rosas-Acevedo, J. L., Ávila-Pérez, H., Sánchez-Infante, A., Rosas-Acevedo, A. Y., García-Ibáñez, S., Sampredo-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* 1(2):81-88.
- Rosenberg, D. M, Resh, V. H. y King, R. S. 2008. Use of Aquatic Insects in Biomonitoring. pp. 39- 53. *In*: Merritt, R. W., Cummins, B. K. W. y Berg, M. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Kendall/Hunt Pub. Comp. Dubuque, Iowa. USA.
- Ruiz-Picos, R. A., Sedeño-Díaz, J. E. y López-López, E. 2016. Ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos relacionados con diversos usos del suelo en los ríos Apatlaco y Chalma-Tembembe (cuenca del Río Balsas), México. *Hidrobiológica.* 26(3):443-458.
- Sabater, S., Donato, J. C., Giorgi, A. y Elosegí, A. 2009. El río como ecosistema. pp. 23-37. *En*: Elosegí, A. y Sabater, S. (Eds). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA. Bilbao, España.
- Saldaña, F. P., Sandoval, M. J. C., López, L. R. y Salcedo, S. E. 2001. Utilización de un índice de diversidad para determinar la calidad del agua en sistema lóticos. *Ingeniería Hidráulica en México* 16(2):57-66.
- Sánchez, G. A. A. 2005. Análisis de efemerópteros y quironómidos (Insecta) como indicadores de la calidad del agua en el Río Amacuzac, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 42 p.

- Sánchez, O. 2007. Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación. pp. 11-36. *En*: Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R. y Zambrano, L. (Ed). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México. D.F.
- Sandoval-Manrique, J. C., Santiago-Fragoso, S. y Parra-López, M. 2001. Los coleópteros acuáticos del río Amacuzac, México. pp. 97-108. *En*: Navarrete-Heredia, J. L., Fierros-López, H. E. y Burgos-Solorio, A. (Eds). Tópicos sobre Coleoptera de México. Universidad de Guadalajara-Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México.
- Sandoval-Manrique, J. C., Molina-Astudillo, F. I. y Burgos-Solorio, A. 2012. Análisis y ponderación de los macroinvertebrados bénticos como bioindicadores de la calidad del agua del río Amacuzac, Morelos, México. pp. 135-152. *En*: Monroy, R., Monroy-Ortiz, R. y Monroy-Ortiz, C. (Comp). Las Unidades productivas tradicionales: frente a la fragmentación territorial. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. México.
- Santiago-Fragoso, S. y Sandoval-Manrique, J. C. 2001. Coleópteros acuáticos y su relación con la dinámica fisicoquímica del río Cuautla (tramo Tetelcingo-Anenecuilco), Morelos, México. *Hidrobiológica* 11(1):19-30.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2011. Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Región Hidrológica número 18 Balsas. Diario Oficial de la Federación. 16-60 pp.
- Servicio Geológico Mexicano. 2011. Panorama minero del estado de Morelos. Coordinación General de Minería y Generación del Conocimiento Geológico-Económico para Vivir Mejor. Gobierno Federal. 41 p.
- Segnini, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotrópicos* 16(2):45-63.
- Silva, P. M. A. y Huamantínco, A. A. 2022. Preferencia de microhábitat y gremios tróficos de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos, Ayacucho, Perú. *Limnetica*, 41(1):1-16.
- Springer, M. 2010. Biomonitoring acuático. *Rev. Biol. Trop.* 58 (Supl. 4):41-50.
- Thorp, J. H. y Covich, A. P. 2010. Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. Academic Press. USA. 1021 p.
- Torres-García, U., Pérez-Valladares, C. X., Herrería-Diego, Y. y Pineda-López, R. F. 2014. Efecto de los factores ambientales sobre la diversidad de insectos hemimetábolos y coleópteros acuáticos en la cuenca del río Xichú, Guanajuato, México. *Rev. Biol. Trop.* 62 (Supl. 2):69-80.
- Torres, S. H., Martín, J. P. Gárgano, L. y Tejedor, F. 2023. Respuesta del ensamble de macroinvertebrados bentónicos en un río afectado por la actividad antrópica de la Patagonia extrandina (Provincia de Santa Cruz, Argentina) *Ecología Austral* 33:516-532.

- Trujillo, J. P., Sandoval-Manrique, J. C. y Trejo-Albarrán, R. 2002. Biodiversidad acuática del río Amacuzac, Morelos, México. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Centro de Investigaciones Biológicas. Bases de datos SNIB-CONABIO. Invertebrados. Proyecto No. S150. México, D.F.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. y Cushing, C. E. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37:130-137.
- Walteros, R. J. M. y Castaño, R. J. M. 2020. Composición y aspectos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos presentes en una microcuenca de cabecera en los Andes de Risaralda, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 44(171):581-592.
- Ward, J. V. 1992. *Aquatic insect ecology, 1. Biology and habitat.* John Wiley and Sons. Inc. USA. 438 p.
- Washington, G. H. 1984. Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Res.* 18(6):653-694.
- Wilhm, J. L. y Dorris, T. C. 1968. Biological parameters of water quality. *Bioscience* 18:447-481.
- Wilhm, J. L. 1975. Biological indicators of pollution. pp. 375-402. *In:* Whitton, B. A. (Ed.). *River ecology.* Blackwell Sci. Pub. London, England.
- William, H. C. 2007. The use of macroinvertebrate in assessing biotic integrity and aquatic conditions in North America and potential for use in Latin America. pp. 91-104. *En:* Novelo, G. R. y Alonso E. P. E. *Simposio Internacional Entomología Acuática Mexicana: Estado actual de conocimiento y aplicación.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Sociedad Mexicana de Entomología. México.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD  
DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
Licenciatura en Biología, Programa Educativo de Calidad.

Cuernavaca, Morelos a 08 de mayo de 2024

**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 el Pasante de Biólogo: **JENNIFER ROJAS NAVARRO**, con el título del trabajo: **“Diversidad y Grupos Funcionales Alimenticios de los Macroinvertebrados Dulceacuícolas del río Agua Salada en la microcuenca Coaxitlán, Morelos-Guerrero”**.

En calidad de miembros de la comisión revisora, consideramos que el trabajo reúne los requisitos para optar por la Modalidad de Titulación por Tesis como lo marca el artículo 6° del Reglamento de Titulación Profesional vigente de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Atentamente  
*Por una humanidad culta*

**JURADO REVISOR**

**FIRMA**

PRESIDENTE: M. EN C. MIGDALIA DÍAZ VARGAS

SECRETARIO: BIÓL. JENNIFER IVONNE BOBADILLA MARTÍNEZ

VOCAL: BIÓL. JUAN CARLOS SANDOVAL MANRIQUE

SUPLENTE: BIÓL. SARA GUTIÉRREZ GARCÍA

SUPLENTE: BIÓL. JUAN ALBERTO HERNÁNDEZ ARIAS

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, Unidad Biomédica,  
Tel. (777) 329 7047, 329 7000, Ext. 3527 / titulaciones.biologia@uaem.mx

**UAEM**  
RECTORÍA  
2023-2029



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

**JUAN ALBERTO HERNÁNDEZ ARIAS | Fecha:2024-05-08 12:58:44 | FIRMANTE**

fjTA7LFnwydaxja2DLXNWbMUzizaiJGuXTETonbO+0Eh72wJvCu1VECKR0t9bIfVaKndN31AJGQqZaojC+lj6CWCqjWSjg+aSNZEaCAIU0jbUldzghSQrzPjOOcInRv3LyX31hKrX3RPLu9f3KdTgbEecSVRnoKMod73APnrUPILCT1mpoZtLDxfwV4yMVRHSnUzC3HfwMn2bb8g9Oows9OZZkdZK4VGYAMMLoYmDFUzd/RPE4RG/qgZKBNcBaOROC3ZTWgsj hvotXvH0IGQVAQf0KJ2YzaEsyAGoleeetTFRPGuD1DacYIFhdZ+sYVzU0Ifwzd4DK/25DOZbD7Q==

**SARA GUTIERREZ GARCIA | Fecha:2024-05-08 13:10:16 | FIRMANTE**

tIGNr8XOwJGJT2NUgraaQt81NPxtUXiVQ7llmJ1u5ua0zCFniR6LKeNinrC43gPkSe29FSG3UklzFpKGF4+3M65/vIEPUA0urGQR2zpjUQQjMlvZ7ZSZN2y5G2i7YbzvJ3JUupkhN+glV0/fdwEi1ennF6gPMTDykY4r8FYU5BBd+hT9NtWdnWR9KdBCbHnAJA5dbmcw1mh8yxwI77ABOq/LgSw43xdaOJPjyfhofsPhHXniE0Dq57jV8PEPEgR3bWGF8CptSTFVu2nWwhKLRJ95JhLpTWLQvmkh0emDebKDRPceA6AuGYupRBuZrLbJDNyWWWhP1eN7sCuoxqg==

**MIGDALIA DIAZ VARGAS | Fecha:2024-05-08 13:19:18 | FIRMANTE**

dQAuUkGULokq9vUA0dmbrS0GHPlz6WmoeyKsRclKYIbRDMhDk73BghZWIE2O8+DQs9VQuBNE5Q56YjhOxQwV6ZVWED/dvQUJoT9VjoedAG1ceTQpLqOGbl33awr8WDILk9rnfkdwMP15Oug1WaWq5W49NN+Uzi6Y4l/ErQuAgo15s2PY7XzYis4Y0UztOlyWWWXQC02VGz1+g+WFJdHCWBnJvWogptyW9usmmMboQLh7cq2bx9exKUnpFkaqBsu7dRFxR8Yt8k41ocRKQZUJmFzsmQORSaLh/G7Xu9tCjIzjMRKoduceMnR+TUZxbHYdFqfRWSMo2l84sAx8nU+5K6c7g==

**JENNIFER IVONNE BOBADILLA MARTINEZ | Fecha:2024-05-08 13:20:31 | FIRMANTE**

094CllkEpnFLMCJvjWmcDFRfTyJh47cpZoF1Ut7TVpqsJqvin9etgHx7pYtxzKQLKKG5GtnBOgV65324lcb9WdBFL30QO2rYgp3t2PKY/jlJRI+e5k2ac+tiLKQ+HivsqkjeBNAaPzOf7Eyc0nGXqmCs6LISFH7xhzVkhXwubxa40XEpGk355WdlbT7A9leOnOxXRbZ4KQnnDv972eYoVut1wzxPXhoq8/eT/8Izn7hLqUQU86Ty2Bu24NTWCyZWesJhIkUOHYi7ViVoPA5dgN16FguWJAgBRwI90aRK7azPZshAGR8ofL1gRpl7LiSCAvHxEBYiweVn9sRQ==

**JUAN CARLOS SANDOVAL MANRIQUE | Fecha:2024-05-08 16:19:09 | FIRMANTE**

ouDFzPCLq8Z3ovLWQR2wqdp2T1vB5iH1rSj6VIFJ95CqAd4Ygqy88nt4OArfyJ1FijfXk1KH8Xelz9O9ueV2wDMftEmqbmqX5C846p4HwoCPgg5aUTIZd5pcPA34GFpUpQihBAP/T8TlJEkq0ULfHL0BCdSx1Z/YpetLAalbw0TFJyZEA9pws20z6BAq+NnopGFwmTxd69TVWo9CohpXyEy8D76Y3HJ7lDOf1V/PKwRqmb4k6rGnkc2ckTine148i5H0oY9TbXpYuS/LCsdGHBCJL+jMr8fbFst+EbU9bf8ynT/bx3ox/gIE6fr1xlkMI+V19E5h1K1sb3z8wPaQ==

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



CEmR5ilfd

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/1nuXyRxlqmlnLyheGyragOUJlmZqicY>



UAEM  
RECTORÍA  
2023-2029