



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Composición taxonómica y caracterización
ambiental de las larvas de tricópteros (Insecta:
Trichoptera) en el río Cuautitlán, Estado de
México**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I Ó L O G O
P R E S E N T A:**

MAURICIO RAMÍREZ CARMONA



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. GERARDO RIVAS LECHUGA**

2017

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno

Ramírez
Carmona
Mauricio
56842369
Universidad Nacional Autónoma de
México
Facultad de Ciencias
Biología
310215558

2. Datos del tutor

Dr
Gerardo
Rivas
Lechuga

3. Datos del sinodal 1

Dr
Rogelio
Aguilar
Aguilar

4. Datos del sinodal 2

Biól
Rafael Enrique
Barba
Álvarez

5. Datos del sinodal 3

M en C
Alicia
Rojas
Ascencio

6. Datos del sinodal 4

Dr
Arturo
García
Gómez

7. Datos del trabajo escrito

Composición taxonómica y caracterización ambiental de las larvas de tricópteros
(Insecta: Trichoptera) en el río Cuautitlán, Estado de México.

70 p.
2017

Agradecimientos

Al Dr. Gerardo Rivas L. por su invaluable ayuda durante todo este tiempo.

Al Dr. Javier Carmona Jiménez y al Laboratorio de Ecosistemas de Ribera por el préstamo de material de campo y su inigualable ayuda durante la tesis.

Al Biol. Omar Laguna Calvo, Montserrat Vásquez Trejo, a la Biol. Adlaí Miguel Méndez, a la Biol. Rosalba Bolaños Gallardo y a José Eduardo Pérez López por su invaluable apoyo durante los muestreos.

A la M en C. Maricela Vicencio, Biol. Omar Lagunas Calvo, Biol. Aurora Vasallo Ávalos y Montserrat Vásquez Trejo por su oportuna ayuda con la separación del material de campo.

Al Biol. Rafael Barba Álvarez por la ayuda en la revisión del material y por la revisión de esta tesis.

Al Dr. Rogelio Aguilar Aguilar, M en C. Alicia Rojas Ascencio y al Dr. Arturo García Gómez por la revisión de esta tesis y sus oportunos comentarios.

A los proyectos PAPIIT DGAPA-UNAM: IN218414 e IN224217

Mr. Tambourine man (fragment)

*Take me on a trip upon your magic swirlin' ship
My senses have been stripped, my hands can't feel to grip
My toes too numb to step
Wait only for my boot heels to be wanderin'
I'm ready to go anywhere, I'm ready for to fade
Into my own parade, cast your dancing spell my way
I promise to go under it*

*Hey! Mr. Tambourine Man, play a song for me
I'm not sleepy and there is no place I'm going to
Hey! Mr. Tambourine Man, play a song for me
In the jingle jangle morning I'll come followin' you*

Bob Dylan

Contenido

Resumen.....	1
Introducción.....	3
Insectos Acuáticos.....	3
Orden Trichoptera	3
Ciclo de vida en Trichoptera	5
Tricópteros como bioindicadores	7
Parámetros fisicoquímicos del agua	9
Justificación.....	12
Antecedentes.....	13
Área de estudio	13
Hipótesis.....	16
Objetivos	16
Materiales y Métodos.....	17
Resultados	22
Composición y ubicación taxonómica	22
Categorización trófica y ecológica.....	30
Parámetros ambientales.....	33
Estructura y composición de tricópteros con variación temporal y espacial	41
Discusión.....	47
Composición taxonómica.....	47
El sustrato como factor limitante (microhábitat).....	52
Diversidad en la preferencia de microhábitats y mesohábitats	54
Variación espacial y temporal.....	55
Conclusiones.....	57
Referencias	60

Resumen

Los ecosistemas epicontinentales son el hábitat de una amplia diversidad de insectos acuáticos, en particular el orden Trichoptera es uno de los grupos más diversos, la mayoría de las especies construyen refugios en ríos limpios, con un continuo flujo de agua y un sustrato firme para poderse establecer. Los tricópteros son empleados en estudios de monitoreo de calidad de agua como bioindicadores, ya que estos presentan adaptaciones a determinadas condiciones ambientales y muestran límites de tolerancia a las diferentes alteraciones naturales o de contaminación en el ecosistema. Algunos factores del entorno físico y químico en los ambientes acuáticos como: aforo, sustrato, temperatura, oxígeno disuelto y química del agua son determinantes debido a que ejercen un control importante sobre la composición y la abundancia de las poblaciones de los tricópteros. El objetivo general del estudio fue analizar la composición taxonómica y densidad de las larvas de tricópteros con base en la temporalidad, la altitud, el mesohábitat, el microhábitat y los parámetros ambientales en el río Cuautitlán, Estado de México. Se realizaron recolectas en el río Cuautitlán a tres altitudes diferentes (3,500, 3,281, 2,729 msnm) utilizando una red de Hess. En cada sitio se tipificaron 4 tipos de mesohábitats: rápido, borbotón, litoral y poza con tres réplicas de muestreo cada uno; considerando el microhábitat como el tipo de sustrato que presentó cada una de las muestras. Los parámetros fisicoquímicos se registraron in situ: pH, temperatura, oxígeno y profundidad, en laboratorio: nitritos, nitratos, amonio y fosforo reactivo soluble. Con el fin de explicar los patrones de composición de tricópteros se realizaron análisis de escalamiento multidimensional (MDS), análisis de similitudes (ANOSIM), análisis de disimilitudes (SIMPER) y un análisis BEST mediante el método de BIO-ENV (PRIMER-E versión 6.1.4, Clarke y Gorley, 2006). También, se realizó un análisis de correspondencia canónico (CCA) en el programa R a través del paquete “vegan” (Oksanen *et al.*, 2017). Las diferencias entre abundancias y riquezas entre sitios, entre el mesohábitat y el microhábitat fueron comparadas mediante un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis. En este estudio

se registraron un total de 12 géneros de tricópteros correspondientes a 10 familias. Respecto a la abundancia y a la riqueza se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los tres sitios, también las hubo para las categorías de microhábitat (sustratos rocoso, arenoso y vegetal) pero no en los distintos mesohábitats (poza, litoral, borbotón y rápidos). El análisis de similaridades (ANOSIM) demostró que los ensambles de tricópteros se encuentran agrupados por sitios y separados por la altitud ($R = 0.877$, $p = 0.001$), el análisis SIMPER permitió mostrar la disimilitud entre sitios siendo *Polycentropus* y *Glossosoma* los géneros que mayor aportaron a esta diferenciación. Finalmente, en el análisis de correspondencia canónico (CCA) se pudieron observar dos asociaciones importantes, la primera con los géneros *Helicopsyche* y *Ochrotrichia* que mostraron preferencias por sitios con mayor oxígeno disuelto; y la segunda con *Polycentropus* quién mostró mayor afinidad con el aforo y los nutrientes. De acuerdo con los resultados, la composición de tricópteros del río Cuautitlán estuvo determinada por dos variables altamente limitantes: el aforo y el sustrato, las cuales juegan un papel fundamental en la formación de nuevos nichos y en el establecimiento de los ensambles de los tricópteros en estos ambientes. Este estudio se presenta como la base ecológica para un posible plan de monitoreo en la microcuenca del río Cuautitlán, Estado de México.

Introducción

Insectos Acuáticos

Trece órdenes de insectos conforman la fauna entomológica en los sistemas acuáticos, con estadios acuáticos o semiacuáticos, siendo Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Megaloptera y Trichoptera, los órdenes completamente acuáticos en la parte inmadura de su ciclo de vida (Ward, 1992). Particularmente, Trichoptera es el más diverso con más de 14,000 especies descritas en el mundo, seguido por Odonata con 6,000 y Plecoptera con 3,500 (Ward, 1992; Holzenthal *et al.*, 2011).

Los ambientes acuáticos son el hábitat de una amplia diversidad de insectos adaptados a estos sistemas que pasan por estadios larvarios dentro del agua. En particular, los insectos del Orden Trichoptera son organismos acuáticos que construyen casas y refugios en ríos limpios, con un continuo flujo de agua, y un sustrato firme para poder establecerse. Son organismos frecuentes y abundantes ya que desempeñan un papel relevante en las cadenas tróficas por su diversidad de preferencias alimentarias y el flujo de nutrientes a partir de materia orgánica y otras especies bentónicas (Bueno-Soria, 2004).

Orden Trichoptera

El orden Trichoptera cuyas especies son tradicionalmente confundidas como polillas en México y conocidas como “frigáneas” en España y “caddisflies” en Estados Unidos, es uno de los grupos de insectos acuáticos más diversos. Su riqueza consiste actualmente de aproximadamente 15,000 especies descritas en todo el mundo (Holzenthal *et al.*, 2011). Para la región Neártica se conocen cerca de 1,400 especies (Merritt y Cummins, 2008; Hershey *et al.*, 2010).

El orden Trichoptera fue descrito por Kirby en 1813. Las primeras especies descritas dentro del orden fueron incluidas en la décima edición de *Systema Naturae* de

Linnaeus (1758). En esta obra se describen 17 especies dentro de los insectos Neuroptera, posteriormente fueron incluidas 13 especies en el orden Trichoptera.

Los tricópteros están presentes en todos los continentes, excepto la Antártica, las larvas viven en la mayoría de los ambientes epicontinentales: manantiales, zonas de escurrimientos, lagos, ríos, riachuelos, corrientes y charcos temporales; siendo un componente importante de la comunidad de invertebrados acuáticos (Merritt y Cummins, 2008).

De acuerdo con Holzenthal (2011), el orden está dividido en 2 subórdenes: Annulipalpia e Integripalpia, conteniendo 10 y 39 familias respectivamente. En conjunto contienen 601 géneros y 14,291 especies (Holzenthal, 2011; Holzenthal *et al.*, 2015). El suborden Annulipalpia incluye a aquellas familias cuyas larvas construyen refugios de formas variadas, a menudo con redes de seda que son utilizadas para atrapar presas o materia orgánica en el afluente. El suborden Integripalpia incluye a aquellas familias que construyen refugios portátiles de forma tubular y llegan a ser muy específicos a nivel de familia y género (Holzenthal *et al.*, 2015).

Una de las razones que explican el éxito evolutivo de estos insectos en los sistemas acuáticos son sus hilos de seda que son producidos por una glándula salival y con los cuales las larvas construyen sus refugios, además de desarrollar diversas adaptaciones en cuanto a la captura de alimento, a la flotabilidad y al intercambio gaseoso (Ward, 1992; Wiggins 1996; Voshell, 2002; Houghton, 2012).

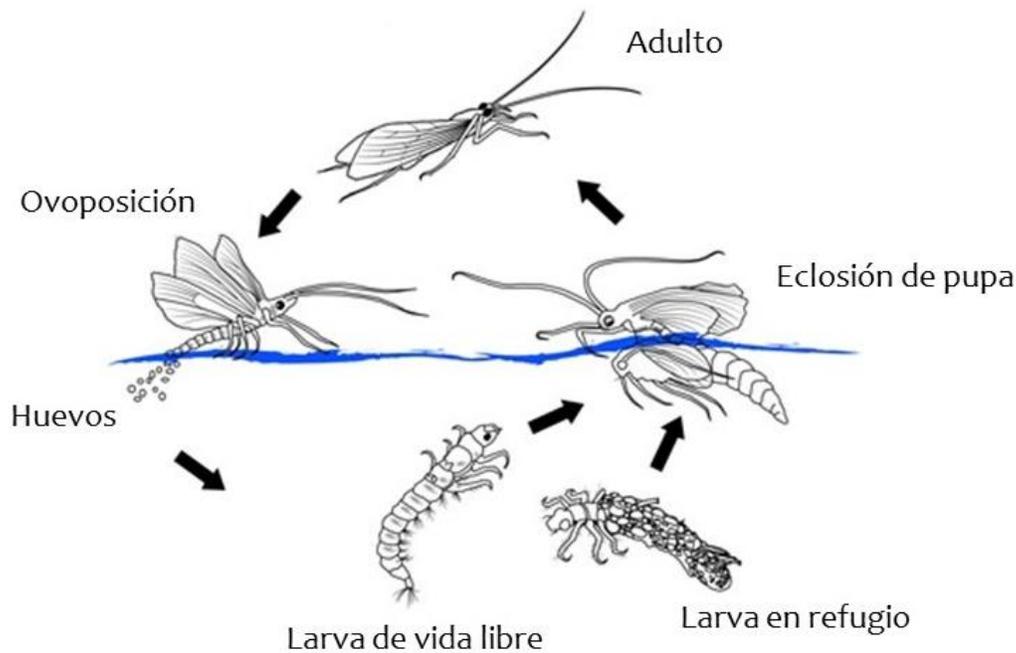


Figura 1. Ciclo de vida holometábolo de los tricópteros (tomada de: <http://bugasart.weebly.com/caddisfly-information.html>).

Ciclo de vida en Trichoptera

Los tricópteros tienen desarrollo holometábolo (Fig. 1), las larvas y las pupas de la mayoría de las especies son acuáticas; las primeras presentan forma campodeiforme, dada su condición oligópoda es relativamente distinguible su regionalización (tagmosis) en cabeza, tórax y abdomen (Figura 2a). Tienen cabeza esclerosada, antenas cortas y escleritos en el primer segmento torácico (pronoto) y en algunas familias también los presentan en el segundo y tercero (Figura 2b). El tórax presenta tres pares de patas y el abdomen un par de patas falsas (propatas) o anales (Holzenthal *et al.*, 2015; Muñoz *et al.*, 2015).

Dorsalmente la cabeza está dividida en tres partes delineadas por suturas. Los escleritos parietales, uno en cada lado, están divididos por la sutura coronal en la región dorsomedial. El esclerito frontoclipeal se encuentra entre los parietales y los separa la sutura frontoclipeal en la región dorsal. Las suturas en conjunto forman una "Y" (Figura 2c). Ventralmente, las genas de los parietales están separadas a lo

largo de la línea media por un apotoma ventral, el cual puede separar parcial o totalmente las genas, ya sea como un único esclerito o dos apotomas ventrales: anterior y posterior. Las antenas están localizadas entre el ojo y la base de la fusión de las mandíbulas en la esquina anterolateral de la cápsula de la cabeza. En la parte anterior de los escleritos parietales se encuentran los ojos sobre una protuberancia transparente. Las piezas bucales son de tipo masticador. El labro es más ancho que largo, la mandíbula está bien desarrollada y puede presentar dientecillos dependiendo de los hábitos de la especie. Las maxilas y el labio están fuertemente fusionados (Wiggins, 1996; Bueno-Soria, 2005; Holzenthal, 2015).

El pronoto está siempre cubierto por dos placas esclerosadas con una depresión central a lo largo de la línea media dorsal ecdisial, el prosterno lleva frecuentemente escleritos prosternales. En varias de las familias que construyen refugios en forma de tubo existe un cuerno prosternal alargado. El trocantín delantero, derivado del pleurón protorácico, tiene características particulares en cada género. El mesonoto puede estar ampliamente esclerosado, formado por una placa entera o subdividido por medio de una línea ecdisial, o puede ser membranoso con o sin escleritos. En estas áreas se originan las sedas mesonotales en tres ubicaciones. Estas sedas están modificadas entre los diferentes géneros (Wiggins, 1996; Bueno-Soria, 2005; Holzenthal, 2015).

El metanoto presenta un esclerosamiento variable y escleritos de menor tamaño con un arreglo de sedas similar al mesonoto. Las patas torácicas son del mismo tamaño en algunos géneros, pero en la mayoría de las familias con las patas delanteras de un mayor tamaño y grosor. Las patas están armadas con sedas, espinas y peines de sedas con múltiples funcionalidades (Wiggins, 1996; Bueno-Soria, 2005; Holzenthal, 2015).

El abdomen es largo y está formado por diez segmentos membranosos que pueden presentar traqueobranquias simples o ramificadas con una posición particular en los segmentos del abdomen (Figura 2a). En el suborden Anulipalpia el abdomen está ligeramente aplanado dorsoventralmente, mientras que en el suborden Integripalpia es casi cilíndrico. El cuerpo es generalmente de color pardo, aunque pueden

presentar colores como el anaranjado y el verde. En la mayoría de las familias de Limnephilidae, el primer segmento lleva una joroba dorsal media y laterales, estas jorobas son retractiles y les ayuda a anclarse en el refugio. Presentan patas “falsas” o anales y muestran una diversidad estructural significativa en todo el orden (Wiggins, 1996; Bueno-Soria, 2005; Holzenthal, 2015; Muñoz *et al.*, 2015).

Tricópteros como bioindicadores

Las larvas de los tricópteros son importantes y benéficas en la dinámica y el flujo de energía de los ecosistemas acuáticos. Al igual que otros macroinvertebrados acuáticos, son empleados en estudios de monitoreo de calidad de agua como bioindicadores. Los insectos acuáticos que habitan los flujos de agua presentan adaptaciones evolutivas a determinadas condiciones ambientales, dichos organismos presentan límites de tolerancia a las diferentes alteraciones naturales o de contaminación (Alba-Tercedor, 1996). El uso de macroinvertebrados acuáticos como grupo indicador en el estudio de calidad de agua tiene diversas ventajas: su gran abundancia dentro de los ambientes acuáticos, su tamaño es relativamente grande (visibles a simple vista), su muestreo no es complejo y existen técnicas de muestreo estandarizadas que no requieren de costosos equipos, además presentan ciclos de vida lo suficientemente largos que les hace permanecer en los ríos el tiempo necesario para detectar cualquier alteración en el sistema, y su gran diversidad que presentan es tan grande que existe una gran gama de tolerancia frente a diferentes parámetros de contaminación (Hellawell, 1986; Alba-Tercedor, 1996).

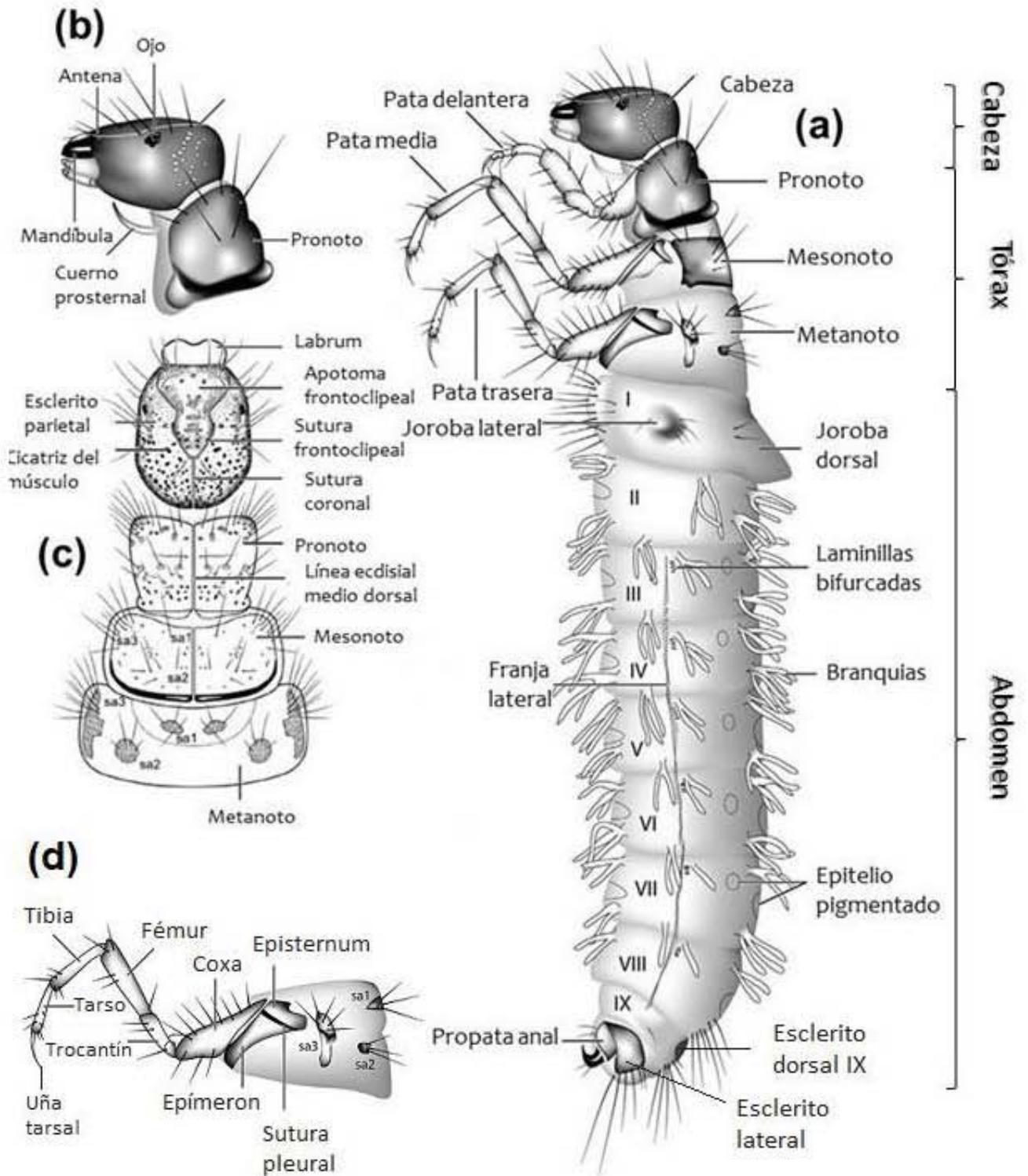


Figura 2. Morfología de la larva de un tricóptero. a) Vista lateral de la larva; b) vista lateral de la cabeza y pronoto; c) vista dorsal de la cabeza y tórax; d) tórax mostrando pata delantera. Tomada y modificada de Holzenthal *et al.* (2015).

La presencia de múltiples especies con diferentes niveles de tolerancia a la contaminación es un testigo de los cambios de la calidad del agua que se han producido en el sistema (Encalada *et al.*, 2011).

Los ríos son entidades heterogéneas y por lo tanto tienen una estructura interna propia, ya sean patrones de pozas y rápidos en arroyos pequeños de un tributario o remansos de un río ancho de más del cuarto orden. Las variaciones temporales y espaciales en el flujo de la corriente, la vagilidad de macroinvertebrados, o la conectividad fluvial (longitudinal y transversal) afectan a los organismos de manera diferente. Además, debido a que los organismos tienen diferentes capacidades de movimiento y diferentes patrones de selectividad de hábitat, sus respuestas a la estructura heterogénea del ambiente serán diferentes (Wiens, 2002).

De acuerdo con la teoría del río continuo, el sistema fluvial es una gran red de afluentes pequeños que se agrupan en ríos más grandes. Las corrientes de agua de los manantiales son influenciadas al máximo por la vegetación de ribera a través del sombreado y, como fuente de los insumos de materia orgánica (Anderson y Shell, 1979.)

La biota, sus recursos y sus hábitats son vistos como parches distribuidos en el río y cada uno puede poseer una comunidad estructurada funcionalmente para explotar las distintas características físicas impuestas por la geomorfología del sitio (Hurn y Wallace, 1987, Townsend, 1989, Downes, 1993; Lake, 2000).

La naturaleza del sustrato junto con los patrones de caudal y la influencia directa de otras variables físicas y químicas resultan en una distribución heterogénea de macro y micro hábitats, los cuales son colonizados por los invertebrados acuáticos (Pardo y Armitage, 1997; Vásquez-Ramos *et al.*, 2014).

Parámetros fisicoquímicos del agua

El entorno físico y químico en los ecosistemas epicontinentales ejercen un control importante sobre la abundancia y composición de las poblaciones y, por lo tanto,

sobre las comunidades acuáticas. Dentro de estos hábitats existen algunos factores en particular de importancia para los insectos acuáticos, los cuales son: oxígeno disuelto, velocidad y tipo de corriente, temperatura, sustrato y química del agua.

Oxígeno disuelto

Los organismos acuáticos requieren de oxígeno para la respiración y actividades metabólicas en general, sin embargo, a veces este recurso no está siempre disponible en el ambiente acuático. En aguas oligotróficas, la saturación llega a ser del 100% ayudado por la turbulencia que se forma entre la superficie y el agua (Lampert y Sommer, 2007). La mayoría de los representantes de las órdenes de insectos que son totalmente acuáticos (p.e. Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) poseen branquias traqueales en el estadio larvario y alcanzan su mayor diversidad en aguas con corriente. Las branquias, usan en abundancia el oxígeno disuelto para su difusión en el cuerpo, por lo tanto, las larvas pueden experimentar estrés a bajas concentraciones de oxígeno. La exposición a oxígeno bajo puede ocurrir en ríos de mayor anchura ya que pueden presentar una menor aireación (Hershey *et al.*, 2010).

Corriente

Otro factor importante para los organismos acuáticos es la corriente. Este elemento es unidireccional, un poderoso factor selectivo en los ríos. Para los animales que no pueden moverse con el flujo del agua, los recursos alimentarios se pierden al instante, que son arrastrados por la corriente. Sin embargo, los recursos de manera continua se van supliendo en la misma cantidad que se pierden (Lampert y Sommer, 2007). Las corrientes rápidas en los arroyos presentan desafíos hidrodinámicos significativos para los insectos, la corriente afecta muchos aspectos de la biología de los insectos: la forma del cuerpo, la adquisición de alimentos y el movimiento. Muchos insectos aprovechan la corriente de los ríos para abastecerse de alimentos que son transportados por la corriente. La variación del flujo (inundaciones hasta la desecación) es la principal causa de perturbación natural en los arroyos y es

responsable en gran medida de la reducción de la abundancia y diversidad de insectos en los ríos (Hershey *et al.*, 2010).

Sustrato

A escala de microhábitat, el sustrato y la hidrodinámica son probablemente los factores más importantes que determinan los tipos y abundancia de insectos acuáticos presentes en los ríos. La mayoría de los insectos acuáticos gastan al menos parte, si no la mayoría, de su ciclo de vida asociado con el sustrato, y las fuerzas hidrodinámicas interactúan fuertemente con el tipo de sustrato para producir el hábitat experimentado por la fauna de insectos (Hershey *et al.*, 2010).

Temperatura

La temperatura es otro elemento importante de las propiedades de los sistemas lóticos, teniendo un gradiente longitudinal desde las partes iniciales hasta las finales de un río. En ellos existirán cambios graduales a lo largo del año y durante el día. En los ríos pequeños el agua se calentará más rápido que en los ríos anchos (Lampert y Sommer, 2007). La temperatura impone restricciones a los insectos acuáticos. Afecta directamente a los insectos mediante la regulación de las tasas metabólicas y por lo tanto el desarrollo de huevo a adulto, e indirectamente, mediante la influencia de factores tales como la dinámica de fluidos, las constantes de saturación de gas y las tasas de productividad primaria (Hershey *et al.*, 2010).

Química del agua

Muchos aspectos de la química del agua pueden restringir la ocurrencia y abundancia de insectos acuáticos, incluyendo el pH, la salinidad y las concentraciones de iones o elementos específicos (Hershey *et al.*, 2010). La química de las aguas es un factor esencial en los ecosistemas fluviales, la composición del agua refleja el origen y las vías de transporte además de determinar la composición y la abundancia de las comunidades acuáticas. En el ámbito de la biogeoquímica, el carbono, el nitrógeno y el fósforo, son elementos esenciales con

un protagonismo trascendental en la biota, ya que estos tendrán implicaciones importantes en las comunidades (Elosegi y Sabater, 2009).

Justificación

Los ríos son uno de los ambientes continentales más impactados en el mundo debido a diferentes factores naturales y antropogénicos, tales como los eventos de sedimentación, contaminación por actividad minera, industrial y de agricultura, además de los asentamientos humanos periféricos al ecosistema (Holzenthal *et al.*, 2015). Además, las perturbaciones a los sistemas lóticos, tales como la explotación forestal, la agricultura, la urbanización y la regulación artificial en el flujo de agua de los ríos, tienen un impacto fuerte en las comunidades de insectos acuáticos, modificando la diversidad de los organismos, así como alterar los insumos energéticos, los regímenes térmicos y la composición del sustrato (Hershey, 2010; Pond, 2011). Estos hechos cada vez son más contundentes en los diversos afluentes de la cuenca de México, la cual además de estar en una región biogeográfica de alta biodiversidad como lo es la Faja Volcánica Transmexicana, presenta riesgos continuos de afectación en sus ecosistemas acuáticos por la creciente urbanización y continua alteración.

Dados los retos actuales por conservar estos ambientes acuáticos y crear planes de monitoreo a futuro, el presente trabajo pretende estudiar las relaciones entre los tricópteros con su ambiente y así sentar las bases ecológicas para el uso de los tricópteros como bioindicadores de la calidad de agua de los ríos de una región relativamente conservada y en riesgo de afectación a un mediano plazo.

Antecedentes

Los primeros estudios taxonómicos de los tricópteros en México se iniciaron con Banks (1900, 1901, 1904, 1905) y Flint (1967a, 1967b, 1972, 1974), en cuyas contribuciones se describieron especies nuevas de tricópteros. Posterior a Flint, Bueno-Soria (1977, 1978, 1983a, 1983b, 1984, 1985, 1986, 1990) continúa con los trabajos de taxonomía del orden. Además, cabe resaltar los trabajos de Bueno-Soria y Flint (1978), Bueno-Soria y Santiago-Fragoso (1979), Bueno-Soria y Hamilton (1986) Bueno-Soria y Contreras (1986), Bueno-Soria y Holzenthal (1986), Bueno-Soria y Harris (1993), Bueno-Soria y Santiago-Fragoso (1996a, 1996a, 1997), Bueno-Soria y Barba-Álvarez (1999a, 1999b) y Barba-Álvarez y Bueno-Soria (2005). También, existen trabajos de tesis sobre algunas revisiones de géneros de tricópteros, realizados por López (1987), Tufinio (1986), Fernández (1991), Barba-Álvarez (1991) y Rojas (1995). Finalmente, Bueno-Soria (2010) publica una guía de identificación de larvas acuáticas del orden Trichoptera.

Área de estudio

La subcuenca del río Cuautitlán forma parte de la gran Cuenca del Valle de México, se encuentra a una gran altitud (media de 2,900 msnm) de la Faja Volcánica Transmexicana. Se ubica en el Estado de México, al noroeste de la Ciudad de México, y comprende cinco municipios del estado: Jilotzingo, Isidro Fabela, Nicolás Romero, Atizapán de Zaragoza y Cuautitlán. Se localiza entre las coordenadas: N 19°30 - N 19°45 y O 99°30 - O 99°15. La subcuenca se restringe en la subregión hidrológica 26, cuenca del río Panuco (CONAGUA, 2015; García, 2015).

El clima que predomina en la subcuenca es templado subhúmedo (García, 2004) con una temperatura anual media de 9.1°C, una media máxima de 15.7 °C y media mínima de 2.5°C. La precipitación anual en la zona es de 1,515 mm (CONAGUA, 2015) comprendiendo los meses de mayo a octubre como los más lluviosos.

El nacimiento de los ríos de la subcuenca se remonta a las corrientes más elevadas de la sierra de Monte Alto y de Monte Bajo. El nacimiento del río Cuautitlán se

encuentra específicamente en el manantial del cerro las Navajas, donde desemboca a la presa Iturbide a unos 3,500 msnm (figura 3). El río desciende hasta el pueblo llamado Transfiguración donde se nutre por otro afluente llamado Las Aceitunas (Legorreta, 2009). En la zona predomina el bosque de coníferas con especies dominantes como *Pinus hartwegii* y *P. montezumae*, además existen manchones de bosque de oyamel, *Abies religiosa* (Rzedowski, 2006; Nieto de Pascual, 2009).

La compleja topografía, los gradientes altitudinales y climáticos, la estructura lacustre y la ubicación geográfica de la cuenca en la transición entre dos provincias biogeográficas, hacen de la Cuenca de México un sitio naturalmente rico en biodiversidad (Pisanty *et al.*, 2009). Desde el punto de vista biogeográfico, los ríos de la Cuenca de México están descritos como ríos de alta montaña, en donde la precipitación pluvial y la variación de temperatura a lo largo del año generan una comunidad biológica con mayor afinidad a regiones templadas o boreales (Bojorge *et al.*, 2010).

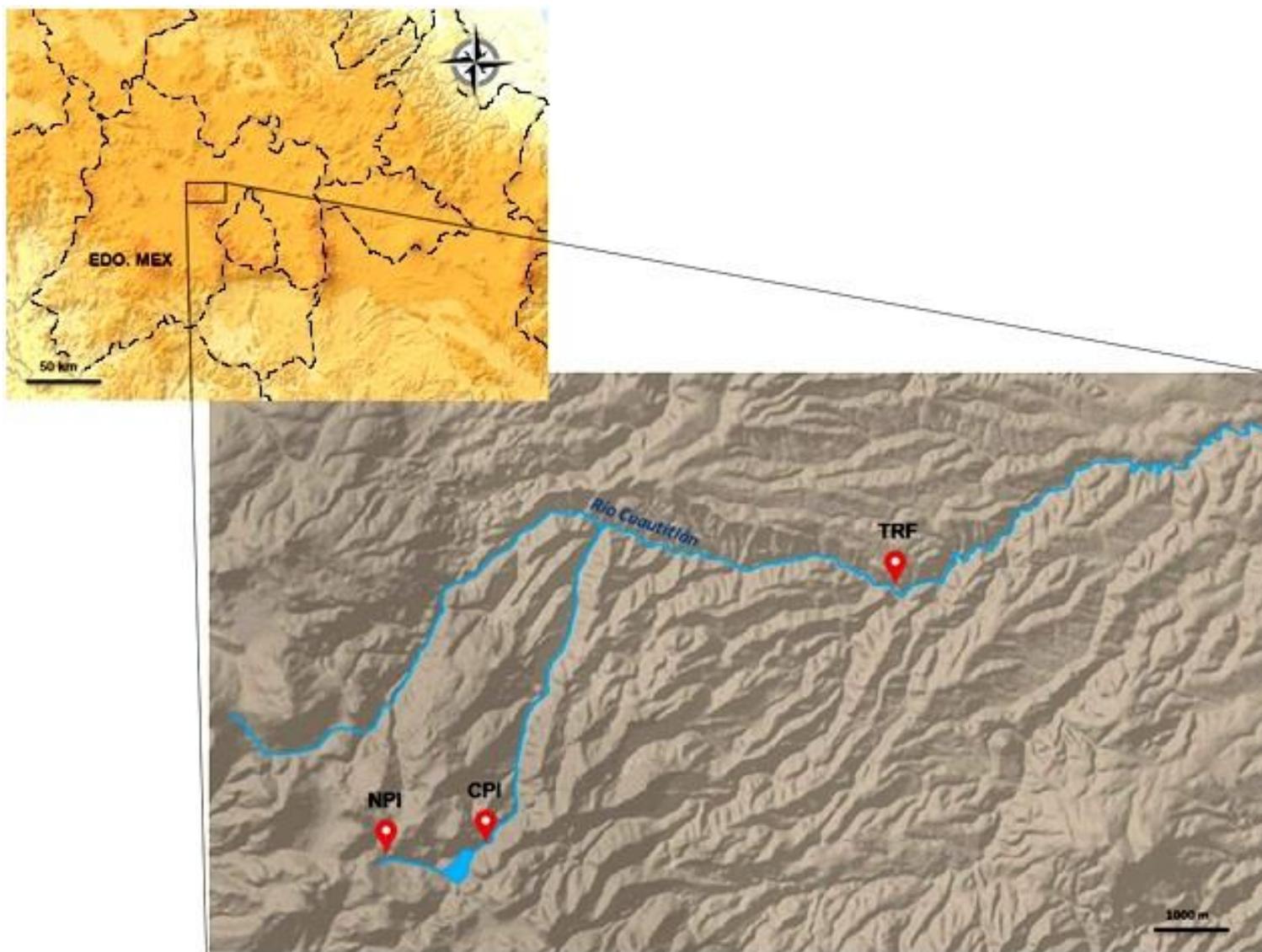


Figura 3. Ubicación de la subcuenca Cuautitlán en el Estado de México. Se muestran los tres sitios de colecta, NPI= Nacimiento Presa Iturbide; CPI= Cortina Presa Iturbide y TRF= Transfiguración. Mapa realizado por Mauricio Ramírez Carmona.

Hipótesis

La fauna de larvas de tricópteros presentarán una abundancia, composición y distribución diferentes a lo largo del río Cuautitlán debido a la temporalidad, a la heterogeneidad del hábitat, al efecto altitudinal y a los parámetros fisicoquímicos del agua.

Objetivos

- Determinar la composición y ubicación taxonómica, a nivel de género, de las larvas de tricópteros del río Cuautitlán, Estado de México. Además de elaborar una clave de identificación.
- Realizar una caracterización ecológica, incluyendo la categorización trófica, de los géneros de tricópteros del área de estudio.
- Correlacionar la riqueza y abundancia de larvas con los parámetros temperatura, profundidad, tipo de sustrato, pH, nitritos, nitratos, amonio, fosforo reactivo soluble, O₂ disuelto, saturación de oxígeno, conductividad y aforo.
- Comparar la composición y densidad de los tricópteros con base en la temporalidad, la altitud, el mesohábitat y el microhábitat, para analizar sus posibles efectos.

Materiales y Métodos

Los sitios de estudio se delimitaron en tres localidades a lo largo del cauce del río Cuautitlán: Nacimiento Presa Iturbide (NPI) a 3,500 msnm, Cortina Presa Iturbide (CPI) a 3,281 msnm y Transfiguración (TRF) a 2,729 msnm. La diferencia altitudinal entre las tres localidades de más de 700 metros, permiten un gradiente susceptible de estudiarse en términos de la biota acuática y en su caso, determinar la influencia de la altitud y de los parámetros ambientales en la composición y abundancia de los insectos acuáticos de ambientes lóticos.

Las larvas de tricópteros se recolectaron durante los meses de febrero, abril, junio, agosto y octubre de 2016 (5 recolectas diurnas). Se utilizó una red acuática de tipo Hess con un área de muestreo de 3.14 dm² y con una luz de malla de 200µm (Figura 4). En cada sitio se tipificaron *a priori* mesohábitats de acuerdo con el tipo de corriente, profundidad y ubicación dentro del río; estos fueron cuatro: poza, borbotón, rápido y litoral.

Las pozas se caracterizaron por ser sitios de poca velocidad de corriente y con profundidad mayor a 30 cm. Los borbotones, en cambio, se definieron por ser lugares con una profundidad no mayor a los 30 cm donde el flujo del agua era interrumpido y a velocidad considerable formando turbulencias con burbujeo superficial evidente. Los rápidos se determinaron por ser hábitats con flujo de agua continuo y con mayor velocidad de corriente que los borbotones. Por otro lado, las zonas litorales se identificaron por ser sitios de remanso y deposición mineral, a las orillas de los ríos y con una baja o nula velocidad de corriente. En cada mesohábitat, se realizaron tres réplicas de muestreo con un esfuerzo de colecta de 1 minuto en cada una. Los insectos fueron depositados en charolas de disección para su separación, los organismos se fijaron en alcohol etílico al 70% para su posterior identificación en el laboratorio.

Dado que los mesohábitats se encontraron distribuidos heterogéneamente en el río y presentaron características particulares, en cada replica se tipificaron *a priori* tres

tipos generales de microhábitat de acuerdo con su tipo de sustrato: arena (sustrato fino y en ocasiones de consistencia lodosa), rocoso (desde grava hasta cantos rodados) y vegetal (hojarasca, troncos pequeños, macrófitas o algas).

Los parámetros fisicoquímicos se registraron *in situ*. El pH, la conductividad específica y la temperatura con un potenciómetro marca Conductronic PC18; los sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y salinidad con un oxímetro marca YSI-85.

El aforo de los afluentes fue calculado con base en la ecuación: $Q = W D_m V_m$; donde Q = aforo (m^3/s), W = anchura del río, D_m = promedio de la profundidad y V_m = promedio de la velocidad de corriente en un transecto perpendicular a la corriente del río (Reid y Wood, 1979).

La concentración de micronutrientes (nitritos, nitratos, amonio, nitrógeno total y fósforo reactivo soluble) se realizó en todos los sitios de recolecta. Se siguieron las recomendaciones de la obra “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1995) y fueron analizadas en laboratorio con un espectrofotómetro (Hach Company).

Se realizó la identificación taxonómica a nivel de género de las larvas con base en los trabajos de Wiggins (1996), Merrit *et al.* (2008) y Bueno-Soria (2011). Adicionalmente se elaboró una clave dicotómica para los géneros recolectados en el área de estudio.

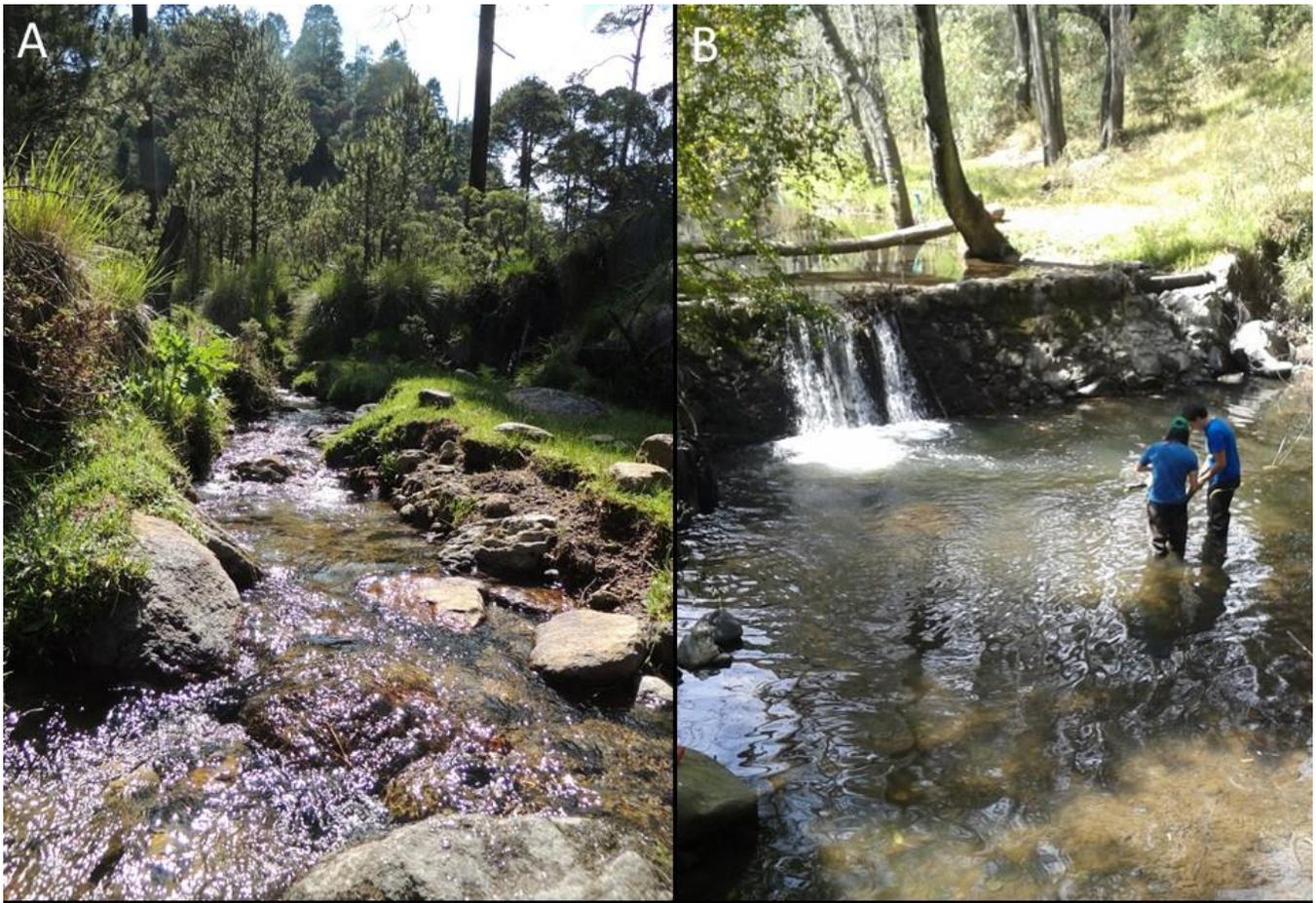


Figura 4. Localidades recolectadas, A: nacimiento presa Iturbide (NPI, 3,500 msnm); B: Transfiguración (TRF, 2,729 msnm); Fotos tomadas por Mauricio Ramírez Carmona y Gerardo Rivas L



Figura 5. A: cortina presa Iturbide (CPI, 3,281 msnm) y; B: colecta en campo con red de Hess. Fotos tomadas por Mauricio Ramírez y Gerardo Rivas

Análisis estadísticos

La estructura de los ensambles de tricópteros fue analizada en por sitios (NPI, CPI y TRF) y por temporadas (lluvias y secas). Se calcularon dos descriptores como la riqueza genérica (número de géneros en cada sitio) y su abundancia (número de individuos de cada género) (Melic, 1993).

Con el fin de obtener una categorización ecológica de los géneros de tricópteros, con base en su abundancia y ocurrencia en los muestreos, se realizó un análisis de asociación de Olmstead-Tukey donde se clasificaron los géneros en cuatro categorías según su ubicación en el gráfico bidimensional de dicho análisis: raros, constantes, ocasionales y dominantes (Steel y Torrie, 1985). El diagrama se obtuvo a partir de la relación entre la abundancia y las frecuencias de aparición de los géneros de tricópteros.

Las diferencias de las abundancias y las riquezas entre sitios, mesohábitats (borbotón, rápidos, poza y litoral) y microhábitats (rocoso, arenoso y vegetal) fueron evaluadas mediante una prueba de Kruskal-Wallis, con ayuda del programa STATISTICA®.

Se realizaron análisis de escalamiento multidimensional (MDS) para comparar los posibles patrones en la composición de los tricópteros en los sitios y ver eventuales agrupaciones entre ellos respecto a la temporalidad o a la altitud. Este análisis se efectuó por medio del coeficiente de Bray-Curtis y se utilizaron las abundancias de los tricópteros por cada sitio y se comparó con las altitudes y temporadas (lluvias vs secas). Posteriormente, se realizaron análisis de similaridades (ANOSIM) para comprobar la significancia, y la correlación entre los grupos (sitios) señalados por el MDS, se utilizó una transformación tipo log (x+1) a los datos de abundancia para obtener una matriz de distancias.

Después se realizó un análisis de disimilitudes (SIMPER) con la finalidad de mostrar la contribución de cada género con la disimilitud entre sitios. Además, a través de un análisis BEST y mediante el método de BIO-ENV, se buscó cual era la variable ambiental o la combinación de estas que pudieran estar explicando los patrones en la composición de tricópteros. Para estas pruebas los datos biológicos se transformaron con raíz cuadrada y los datos ambientales se normalizaron. Los estadísticos se realizaron con el programa PRIMER-E versión 6.1.4 (Clarke y Gorley, 2006).

También, se realizó un análisis de correspondencia canónico (CCA) con el fin de visualizar una posible asociación entre los ensambles de tricópteros con las variables ambientales y con los sitios de colecta. Este análisis fue efectuado con el programa R con ayuda del paquete “vegan” (Oksanen *et al.*, 2017).

Resultados

Composición y ubicación taxonómica

Se obtuvieron un total de 1702 larvas de tricópteros, las cuales fueron identificadas en 12 géneros: *Glossosoma*, *Helicopsyche*, *Atopsyche*, *Cheumatopsyche*, *Ochrotrichia*, *Leucotrichia*, *Lepidostoma*, *Nectopsyche*, *Hesperophylax*, *Limnephilus*, *Polycentropus* y *Xiphocentron*. La ubicación taxonómica se muestra en el Cuadro 1, previa a la clave de identificación taxonómica.

Cuadro 1. Ubicación taxonómica de los tricópteros del río Cuautitlán, con base en Holzenthal *et al*, 2011.

Clase **Insecta** Linnaeus, 1758

 Infraclase **Neoptera** Martinov, 1923

 Orden **Trichoptera** Kirby, 1813

 Suborden **Annulipalpia** Martynov, 1924

 Familia **Glossosomatidae** Wallengren, 1891

 Género **Glossosoma** Curtis, 1834

 Familia **Hydrobiosidae** Ulmer, 1905

 Género **Atopsyche** Banks, 1905

 Familia **Hydroptilidae** Stephens, 1836

 Género **Leucotrichia** Mosely, 1934

 Género **Ochrotrichia** Mosely, 1934

 Familia **Hydropsychidae** Curtis, 1835

 Género **Cheumatopsyche** Wallengren, 1891

 Familia **Polycentropodidae** Ulmer, 1903

 Género **Polycentropus** Curtis, 1835

Familia **Xiphocentronidae** Ross, 1949

Género **Xiphocentron** Brauer, 1870

Suborden **Integripalpia** Martynov, 1924

Familia **Lepidostomatidae** Ulmer, 1903

Género **Lepidostoma** Rambur, 1842

Familia **Leptoceridae** Leach, 1815

Género **Nectopsyche** Müller, 1879

Familia **Helicopsychidae** Ulmer, 1906

Género **Helicopsyche** Siebold, 1856

Familia **Limnephilidae** Kolenati, 1848

Género **Hesperophylax** Banks, 1916

Género **Limnephilus** Leach, 1815

Clave para la identificación de familias y géneros de larvas de tricópteros en el río Cuautitlán (modificada de Wiggins, 1996 y Bueno-Soria, 2011).

- a **1** Larva con refugio portátil construida con granos de arena de forma semejante a una conchal; uñas de las propatas anales con una serie de dientecillos semejantes a un peine o con el ápice en forma de gancho (Fig.7e).....**HELICOPSYCHIDAE- *Helicopsyche***
- b Larva con refugio construido con diversos materiales vegetales o arenas de distintos tamaños no semejante a una concha, uñas de las propatas anales con el ápice formando un gancho robusto (Figs. 6c, 6e, 6b, 8a, 8b, 8c).....**2**
- a **2** (1) Pronoto, mesonoto y metanoto del tórax cubiertos por placas esclerosadas (Figs.6a, 6b, 7f, 7g, 7h)**3**
- b Metanoto y algunas veces el mesonoto enteramente membranoso o con varios pares de escleritos con sedas finas (Figs. 6j, 7a, 7c, 8g) **4**

- a 3 (2) Abdomen con hileras de branquias ramificadas ventrolaterales, y con prominentes manojos de sedas largas en la base de las uñas anales. HYDROPSYCHIDAE—
.....**Cheumatopsyche**
- b Propatas anales no proyectándose libremente del abdomen, uñas siempre pequeñas, larvas usualmente con refugios de arena fina en forma de barril o bolsita (Figs. 6a, 6b, 7f, 7g, 7h)..... HYDROPTILIDAE.....4
- a 4(3) Último estadio larval con el abdomen sin placas esclerosadas, si las llega a presentar, cubre parcialmente al mismo, escleritos del mesonoto y metanoto grandes, cubriendo la totalidad de la superficie del segmento (Fig. 7f, 7g, 7h)..... **Ochrotrichia**
- b Abdomen con los segmentos V, VI y VII abruptamente ensanchados en vista dorsal, escleritos abdominales sin cavidades circulares y seda basal de las uñas tarsales no alargadas (Figs. 6a, 6b)..... **Leucotrichia**
- a 5 (2) Antenas muy largas y prominentes, por lo menos seis veces más largas que anchas, mesonoto con placas esclerosadas pigmentadas, tibias de las patas posteriores (propatas) sin una constricción media y sin división aparente (Fig. 6h).....LEPTOCERIDAE- **Nectopsyche**
- b Antena de longitud normal (si esta visible), no más larga que ancha, mesonoto nunca con un par líneas oscuras (Fig.6f)..... **6**
- a 6 (5) Mesonoto usualmente sin placas esclerosadas, ocasionalmente con pequeños escleritos cubriendo no más de la mitad del noto, pronoto nunca con un lóbulo anterolateral (Figs. 7a, 7c, 8e, 8g) **7**
- b Mesonoto cubierto ampliamente por placas esclerosadas, pronoto a veces con prominente lóbulo anterolateral, labro con solo seis sedas largas transversales en la parte central, refugio en forma de tubo construido de granos de arena o materia vegetal (Figs. 6k, 6j, 8a, 8b) **10**
- a 7 (6) Segmento abdominal IX con placa esclerosada sobre el dorso (Fig. 7a) **8**
- b Segmento abdominal IX con el dorso enteramente membranoso (Figs. 6e, 6g)**9**
- a 8 (7) Mitad basal de las propatas anales ampliamente unidas con el segmento IX, larva construye su refugio portátil semejante a un caparazón de tortuga formado de arena gruesa, mesonoto sin escleritos (Fig. 7a)..... GLOSSOSOMATIDAE- **Glossosoma**
- b La mayor parte de las propatas anales libres del segmento abdominal IX, patas torácicas anteriores con pinzas o quelas para la captura de presas (Fig. 7a, 7d) HYDROBIOSIDAE-
.....**Atopsyche**
- a 9 (8) Tibia y tarsos fusionados en todas las patas, mesopleuron extendido como un proceso lobulado (Figs. 8d, 8d).....XIPHOCENTRONIDAE- **Xiphocentron**

- b Tibia y tarsos no fusionados en todas las patas, placa dorsal entre las uñas y el esclerito lateral de las patas anales con dos bandas oscuras unidas en la porción media asemejando una "X", tarsos de las patas cortos (Fig. 8f, 8g)....POLYCENTROPODIDAE- ***Polycentropus***
- a **10**(9) Antenas situadas próximas al margen anterior de los ojos, faltando joroba media dorsal en el segmento 1, refugio en forma de tubo construido de materia vegetal (Figs. 6c, 6d, 6e, 6f).....LEPIDOSTOMATIDAE- ***Lepidostoma***
- b Antenas situadas cerca del margen anterior de la cápsula de la cabeza, joroba en el segmento 1 presente, refugios en forma de tubo con materiales de arena gruesos o finos (Fig. 6j).....LIMNEPHILIDAE..... **11**
- a **11** (10) Algunas traqueobranquias con más de cuatro ramas (Fig. 6j, 6k), mesofémur solo con dos sedas mayores en la parte de la superficie ventral.....***Hesperophylax***
- b La mayoría de las traqueobranquias con dos o tres ramas, ninguna con más de cuatro, mesofémur con dos sedas largas muy juntas hacia la parte media (Figs. 8a, 8b, 8c)..... ***Limnephilus***



Figura 6. Larvas de tricópteros del río Cuautitlán. a-b. Larva y refugio de *Leucotrichia* (Hydroptilidae). c y e. Larvas en refugios de *Lepidostoma* (Lepidostomatidae). d y f. Detalle de cabeza de *Lepidostoma*, antena cerca del ojo. g y h. Larvas y sus refugios de *Nectopsyche* (Leptoceridae). i-k. *Hesperophylax* (Limnephilidae). Fotos tomadas por Mauricio Ramírez.

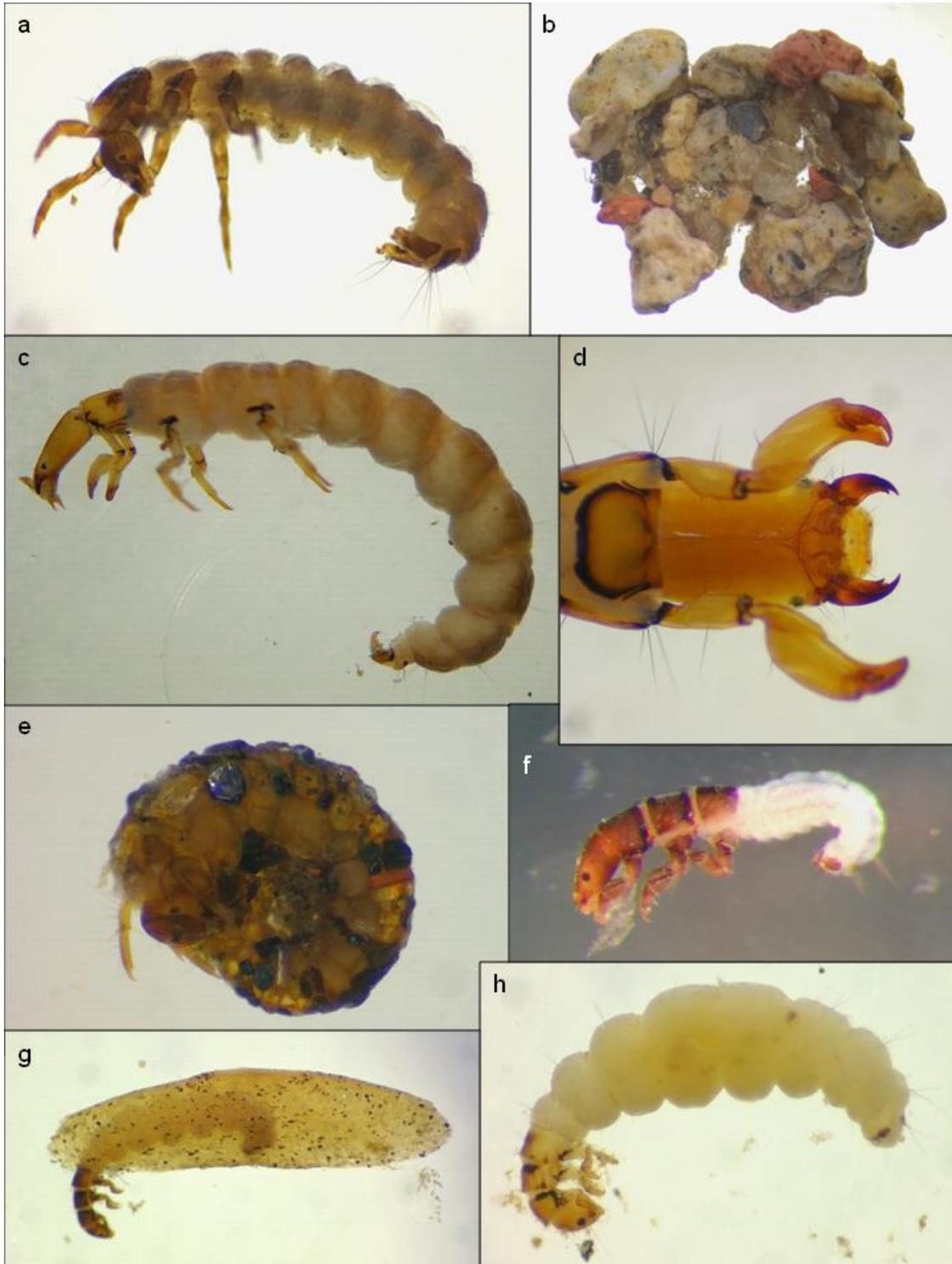


Figura 7. a y b. Larva y refugio de *Glossosoma* (Glossosomatidae). c. Larva de *Atopsyche* (Hydrobiosidae). d. Detalle ventral de la cabeza prognata y patas queladas de *Atopsyche* (Hydrobiosidae). e. Larva en refugio de *Helicopsyche* (Helicopsychidae). f-h. Larvas de *Ochrotrichia* (Hydroptilidae). Fotos tomadas por Mauricio Ramírez



Figura 8. a-c. Refugios y larvas de *Limnephilus* (Limnephilidae). d. Detalle de cabeza ventral con prolongación media del labio de *Xiphocentron* (Xiphocentronidae). e. Larva de *Xiphocentron*. f. Esclerito dorsal de las propatas anales con bandas esclerosadas en forma de "X", *Polycentropus* (Polycentropodidae). g. Larva de *Polycentropus* (Polycentropodidae).

El Nacimiento de la Presa Iturbide y Transfiguración tuvieron una riqueza genérica de once, mientras que la Cortina de la Presa Iturbide solo tuvo 9 (Cuadro 2). Los géneros *Cheumatopsyche* y *Helicopsyche* fueron exclusivos de una sola localidad (en Nacimiento de la Presa Iturbide y Transfiguración respectivamente). Por otra parte, los géneros *Atopsyche*, *Glossosoma*, *Hesperophylax*, *Lepidostoma*, *Limnephilidae*, *Nectopsyche* y *Polycentropus* estuvieron presentes en las tres localidades.

De acuerdo con la altitud se presentaron ciertas diferencias en cuanto a la presencia de algunos géneros de tricópteros. Por ejemplo, el género *Polycentropus* predominó en el sitio Cortina Presa Iturbide a lo largo de todo el año, presentándose en el sitio Trasfiguración y no así en el nacimiento del río (Cuadro 2).

Cuadro 2. Presencia de los géneros de tricópteros en las tres localidades de todas las colectas.

Géneros	NPI	CPI	TRF
<i>Atopsyche</i>	X	X	X
<i>Cheumatopsyche</i>			X
<i>Glossosoma</i>	X	X	X
<i>Helicopsyche</i>	X		
<i>Hesperophylax</i>	X	X	X
<i>Lepidostoma</i>	X	X	X
<i>Leucotrichia</i>		X	X
<i>Limnephilus</i>	X	X	X
<i>Nectopsyche</i>	X	X	X
<i>Ochrotrichia</i>	X	X	
<i>Polycentropus</i>	X	X	X
<i>Xiphocentron</i>	X		X

Categorización trófica y ecológica

Los géneros *Glossosoma* y *Polycentropus* fueron los géneros dominantes a lo largo del año y de las temporadas, es decir, con una gran abundancia y una alta frecuencia de aparición, teniendo una representatividad mayor respecto a otros géneros (Figura 9). *Nectopsyche*, *Ochrotrichia* y *Helicopsyche* resultaron ser los géneros dominantes en al menos 2 de las 5 colectas (Figura 9). El género *Ochrotrichia* en la colecta del mes de abril fue un género “constante”, es decir, una alta frecuencia de aparición más no abundante, igualmente *Lepidostoma* que fue constante en el mes de octubre. Por otro lado, los géneros *Limnephilus*, *Helicopsyche* y *Ochrotrichia* se presentaron de manera “ocasional” en al menos una colecta, es decir, se presentaron con una alta abundancia, pero no frecuente en aparición. *Helicopsyche* fue particular para el sitio Nacimiento Presa Iturbide, ya que estuvo presente durante todo el año, pero con mayor proporción en los primeros meses de la época de lluvias. En contraparte, los géneros *Leucotrichia* y *Cheumatopsyche* solo se presentaron en un par de colectas en todo el año, teniendo muy pocos ejemplares por lo que fueron géneros catalogados como “raros” (Figura 9). El sitio nacimiento presa Iturbide (NPI) presentó la mayor riqueza y diversidad a lo largo del año. Por otra parte, cortina presa Iturbide (CPI) obtuvo la mayor abundancia de organismos en el año y la menor riqueza de los tres sitios. Transfiguración fue el sitio más cambiante a lo largo del año, con abundancias altas en los primeros meses del año y con poca representatividad hacia los meses de lluvia.

Se realizó una categorización trófica con base en las propuestas de Cummins *et al* (2005), Merritt *et al.* (2008) y Ramírez y Gutiérrez, 2014. Las categorías son: depredadores, colectores, trituradores, raspadores y perforadores. El régimen alimenticio se muestra resumido en el cuadro 3. Con base en la categorización trófica, el sitio de mayor altitud (NPI) presentó el mayor porcentaje de raspadores (74.4 %) y de trituradores (20.6%). Por otro lado, los sitios de menor altitud (CPI y TRF) presentaron los porcentajes más altos de depredadores (CPI:91.8 % y TRF:

51.8%). Por otro lado, los colectores presentaron los niveles más bajos en las tres localidades (cuadro 4).

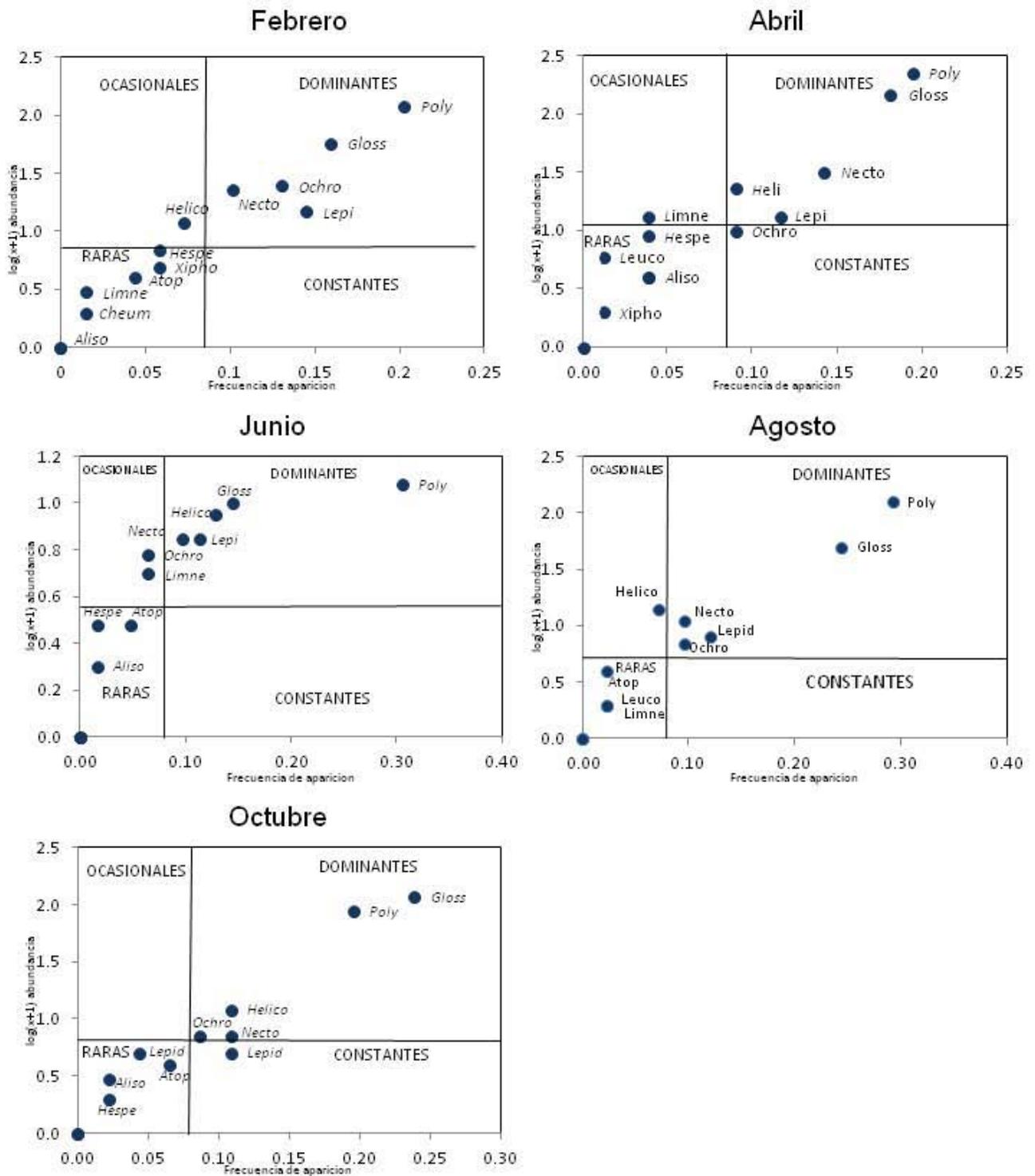


Figura 9. Análisis de Olmstead-Tukey. Jerarquización de los géneros de tricópteros de 5 colectas en el año para los sitios NPI (Nacimiento Presa Iturbide), CPI (Cortina Presa Iturbide) y TRF (Transfiguración).

Cuadro 3. Tipo de alimentación de las categorías tróficas y su correspondiente a cada género de acuerdo con Cummins *et al* (2005), Merrit *et al.* (2008) y Ramírez y Gutiérrez, 2014.

Categorías	Tipo de alimentación	Géneros	Grupo funcional
Depredadores	Consumen otros organismos. Emplean conductas y estrategias para capturar presas, como partes bucales modificadas.	<i>Atopsyche</i>	Depredador
		<i>Cheumatopsyche</i>	Colector
		<i>Glossosoma</i>	Raspador
Colectores	Se alimentan de la materia orgánica fina descompuesta (F POM).	<i>Helicopsyche</i>	Raspador
		<i>Hesperophylax</i>	Fragmentador
Trituradores	Se pueden alimentar de materia vegetal viva, madera o materia orgánica en descomposición (C POM).	<i>Lepidostoma</i>	Fragmentador
		<i>Leucotrichia</i>	Raspador
		<i>Limnephilus</i>	Fragmentador
Raspadores	Se alimentan de las capas de crecimiento de bacterias, hongos y algas que crecen sobre las rocas.	<i>Nectopsyche</i>	Fragmentador
		<i>Ochrotrichia</i>	Perforador
Perforadores	Se alimentan generalmente de plantas vasculares vivas o de algas filamentosas.	<i>Polycentropus</i>	Depredador
		<i>Xiphocentron</i>	Colector

Cuadro 4. Porcentajes del promedio de grupos funcionales por cada sitio en el año.

Sitios	FFG % Anual				
	Depredadores	Colectores	Trituradores	Raspadores	Perforadores
NPI	1.5	0.4	20.6	74.4	3.0
CPI	91.8	-	1.8	2.3	3.9
TRF	51.8	1.8	15.7	30.5	-

Parámetros ambientales

A lo largo de los 5 muestreos bimensuales se observó una variación evidente en los parámetros ambientales para las tres localidades: Nacimiento Presa Iturbide (NPI), Cortina Presa Iturbide (CPI) y Transfiguración (TRF); siendo el aforo, el oxígeno disuelto, la conductividad y el amonio, las variables con mayor grado de variación.

El Nacimiento Presa Iturbide (NPI) no tuvo una variación ambiental evidente a lo largo del año, por ejemplo, los valores de aforo no variaron más de 0.1 m³/s entre las colectas. Lo mismo ocurrió para la temperatura y el pH. Fue el sitio con el menor aforo, el cual aumentó ligeramente en la época de lluvias (Figura 10). El pH y la conductividad disminuyeron en el inicio de la temporada de lluvias. En contraste, el oxígeno disuelto aumentó en los meses de lluvias (Figura 11). Los nutrientes no mostraron una variación considerable, teniendo los valores más bajos en amonio, fósforo y nitratos (Figura 12).

La Cortina Presa Iturbide (CPI) mostró una variación notoria durante el año. El aforo varió considerablemente en las dos temporadas, siendo el mes de agosto el de mayor valor (0.45 m³/s) en todos los sitios y el mes de junio con el valor más bajo (Figura 10). El pH y la conductividad disminuyeron con el inicio de las lluvias, no así para el oxígeno disuelto que aumentó hacia la temporada de lluvias. En cuanto a los nutrientes, el amonio presentó mayores diferencias entre los primeros 6 meses del año, las demás (FRS, NO₂, NO₃) nutrientes no mostraron mayor variación (Figura 11).

Transfiguración (TRF) fue la localidad con mayor variación a lo largo del año. Presentó los valores máximos de conductividad (95 k₂₅) y de pH (8), así como los mínimos para el oxígeno. El aforo fue cambiante entre todos los meses y su incremento se vio reflejado en época de lluvias. También presentó los valores más

altos de nutrientes (FRS: 2.7; NO₂: 0.017; NO₃: 4.5; y NH₄: 0.36), particularmente en el mes de Junio (Figura 12).

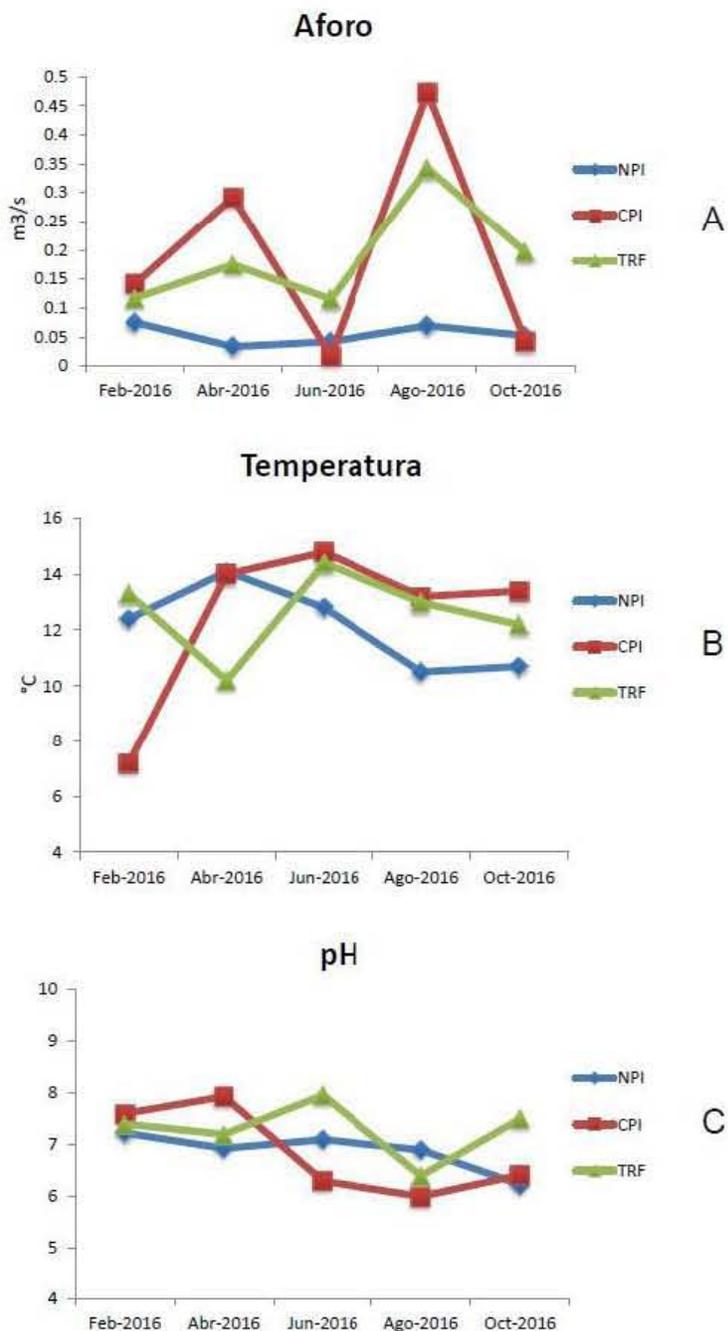


Figura 10. Aforo, temperatura y pH evaluados en tres sitios del río Cuautitlán a lo largo del año. NPI=Nacimiento Presa Iturbide, CPI: Cortina Presa Iturbide y TRF: Transfiguración.

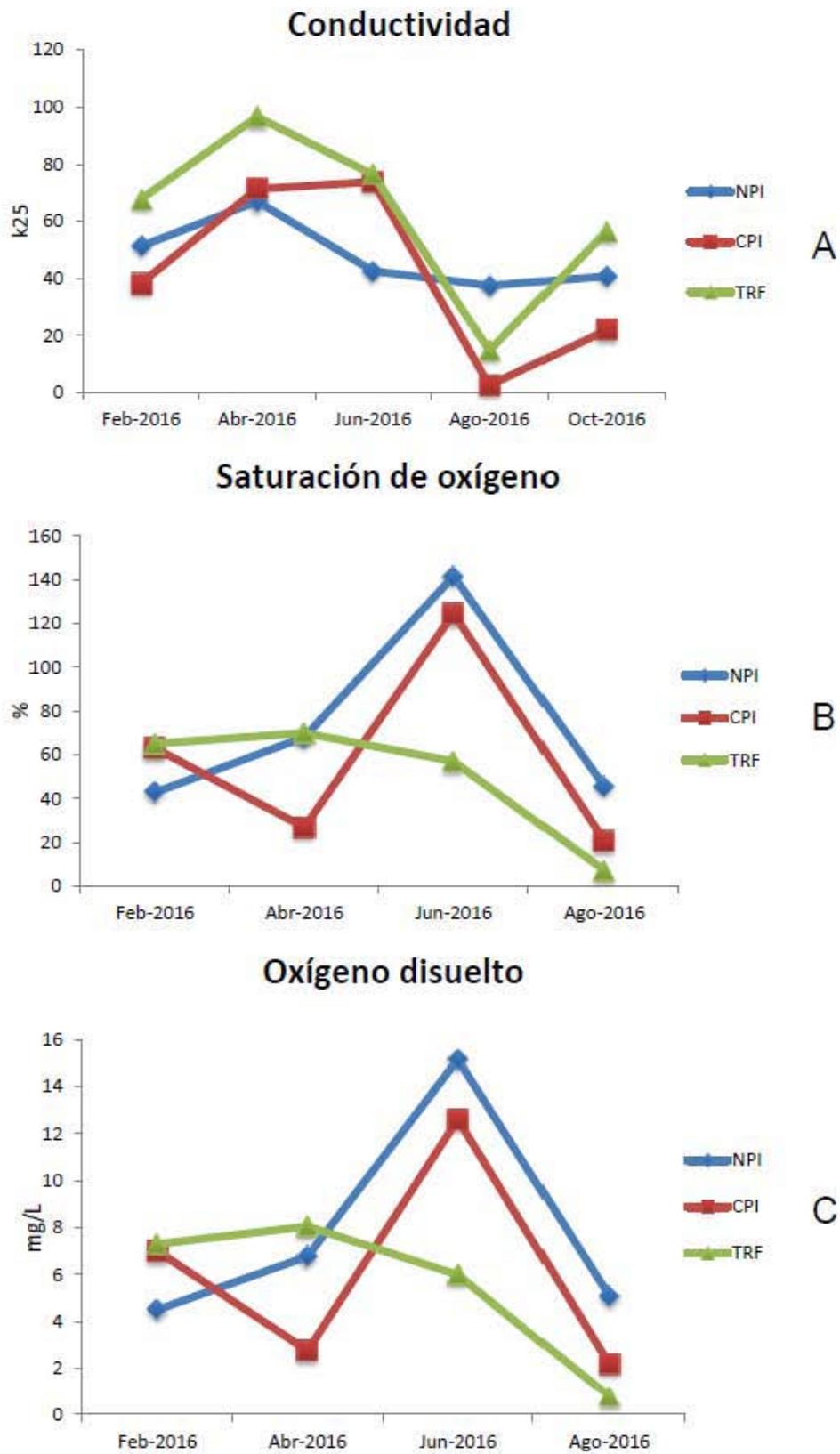


Figura 11. Conductividad, saturación de oxígeno y oxígeno disuelto evaluados en tres sitios del río Cuautitlán a lo largo del año. NPI=Nacimiento Presa Iturbide, CPI: Cortina Presa Iturbide y TRF: Transfiguración

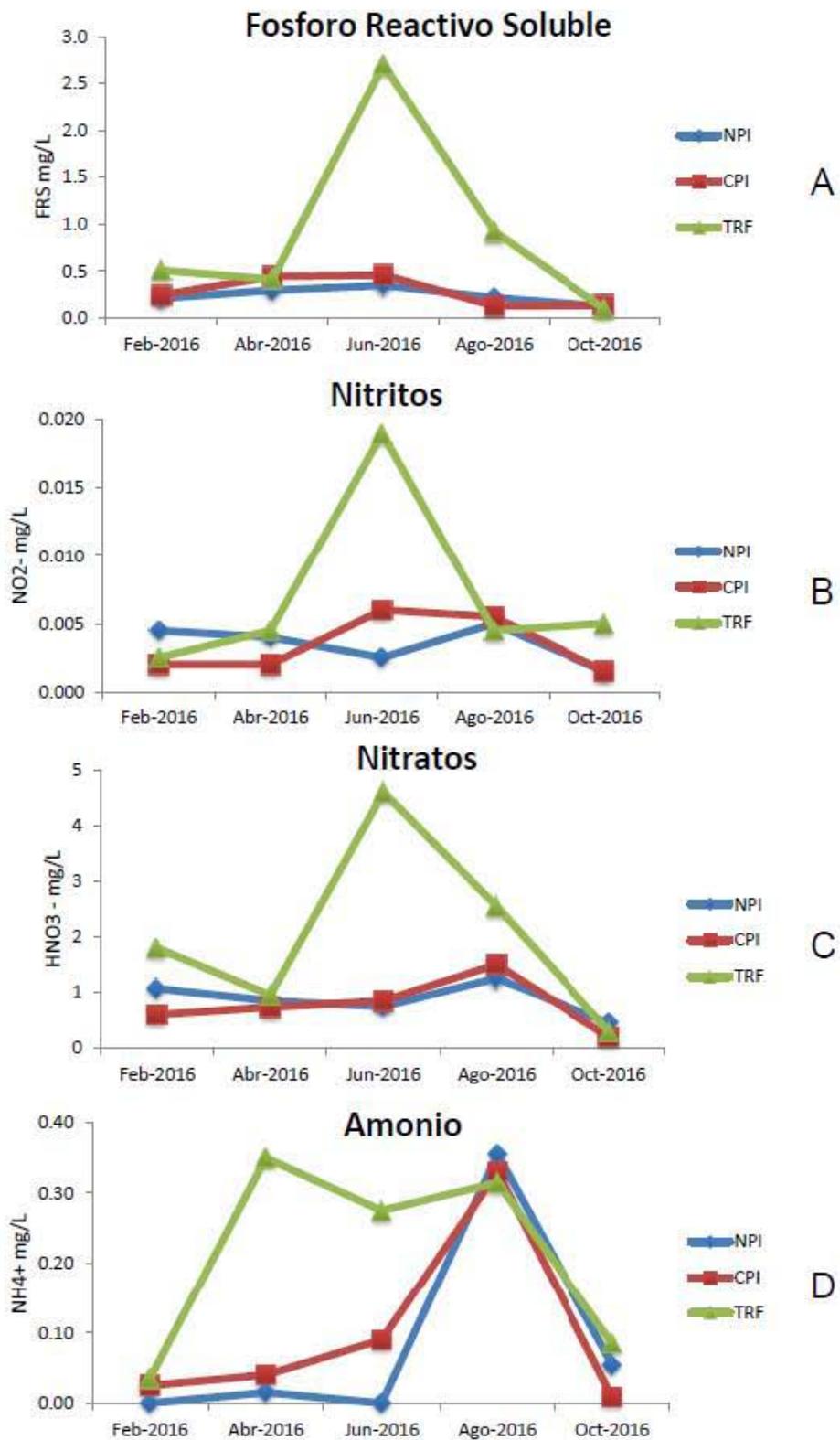


Figura 12. Fosforo reactivo soluble, nitritos, nitratos y amonio evaluados en tres sitios del río Cuautitlán a lo largo del año. NPI=Nacimiento Presa Iturbide, CPI: Cortina Presa Iturbide y TRF: Transfiguración.

Efecto de la altitud, microhábitat y sustrato

En cuanto a la altitud de los sitios, se demostró que existe una diferencia significativa entre las abundancias (Cuadro 5) y las riquezas (Cuadro 6) (altitudes: NPI= 3,500 m; CPI= 3,281 m; y TRF= 2,729 m) para los meses de abril, junio y octubre.

Cuadro 5. Prueba de Kruskal-Wallis para los tres sitios (NPI, CPI y TRF). Abundancias por localidad (g.l.= grados de libertad, H = valor del estadístico de prueba, p = valor mínimo de significancia para el rechazo de la hipótesis nula; * indica diferencias significativas con una $p < 0.05$).

Colecta	g. l.	H	p
Febrero	2,36	4.607383	0.0999
Abril	2,36	10.80607	0.0045*
Junio	2,36	13.14753	0.0014*
Agosto	1,24	3.542396	0.0598
Octubre	2,36	16.51541	0.0003*

Cuadro 6. Prueba de Kruskal-Wallis para los tres sitios (NPI, CPI y TRF). Riquezas por localidad (g.l.= grados de libertad, H = valor del estadístico de prueba, p = valor mínimo de significancia para el rechazo de la hipótesis nula; * indica diferencias significativas con una $p < 0.05$).

Colecta	g. l.	H	p
Febrero	2,36	5.542857	0.0626
Abril	2,36	8.195908	0.0166*
Junio	2,36	10.31114	0.0058*
Agosto	1,24	1.905376	0.1675
Octubre	2,36	14.94546	0.0006*

Cuadro 7. Prueba de Kruskal-Wallis para cada sitio y el mesohábitat (Borbotón, rápidos, litoral y poza). Abundancias por localidad. (g.l.= grados de libertad, H = valor del estadístico de prueba, p = valor mínimo de significancia para el rechazo de la hipótesis nula; * indica diferencias significativas con una $p < 0.05$).

Colecta	Localidad	H (3, 12)	<i>p</i>
	Transfiguración	2.461905	0.4822
Febrero	Cortina Presa Iturbide	3.406619	0.3331
	Nacimiento Presa Iturbide	4.277778	0.2330
	Transfiguración	5.097222	0.1648
Abril	Cortina Presa Iturbide	8.534038	0.0362*
	Nacimiento Presa Iturbide	3.332164	0.3432
	Transfiguración	.6557178	0.8836
Junio	Cortina Presa Iturbide	5.056140	0.1677
	Nacimiento Presa Iturbide	5.261988	0.1536
	Cortina Presa Iturbide	1.370107	0.7126
Agosto	Nacimiento Presa Iturbide	7.669014	0.0534
	Transfiguración	2.200000	0.5319
Octubre	Cortina Presa Iturbide	1.471831	0.6888
	Nacimiento Presa Iturbide	6.145540	0.1047

Respecto al nivel mesoambiental (poza, litoral, borbotón y rápidos) no se obtuvieron diferencias significativas para la abundancia y para la riqueza, con excepción del mes de abril en la Cortina Presa Iturbide (Cuadro 7). Con relación al sustrato (microhábitat) se observaron diferencias significativas entre las tres categorías (rocoso, arenoso y vegetal) tanto para la abundancia como para la riqueza (Cuadro 8).

Cuadro 8. Prueba de Kruskal-Wallis para los tipos de sustrato (Rocoso, Arenoso y vegetal). Se muestran los valores p de Abundancia y Riqueza. (H = valor del estadístico de prueba, p = valor mínimo de significancia para el rechazo de la hipótesis nula; * indica diferencias significativas con una $p < 0.05$).

Abundancia y Riqueza vs Sustrato	H (2,18)	p
Abundancia	8.025682	0.0181*
Riqueza	6.236127	0.0442*

En el sitio Cortina Presa Iturbide se observaron las abundancias más altas de todos los sitios a lo largo del año. Sin embargo, Nacimiento Presa Iturbide presentó la riqueza y diversidad más alta de los sitios. Por su parte, Transfiguración presentó la más grande variación a lo largo del año en cuanto a la abundancia y riqueza, siendo los meses posteriores a la época de lluvias las colectas con menos abundancia y riqueza de los tres sitios (Figura 13).

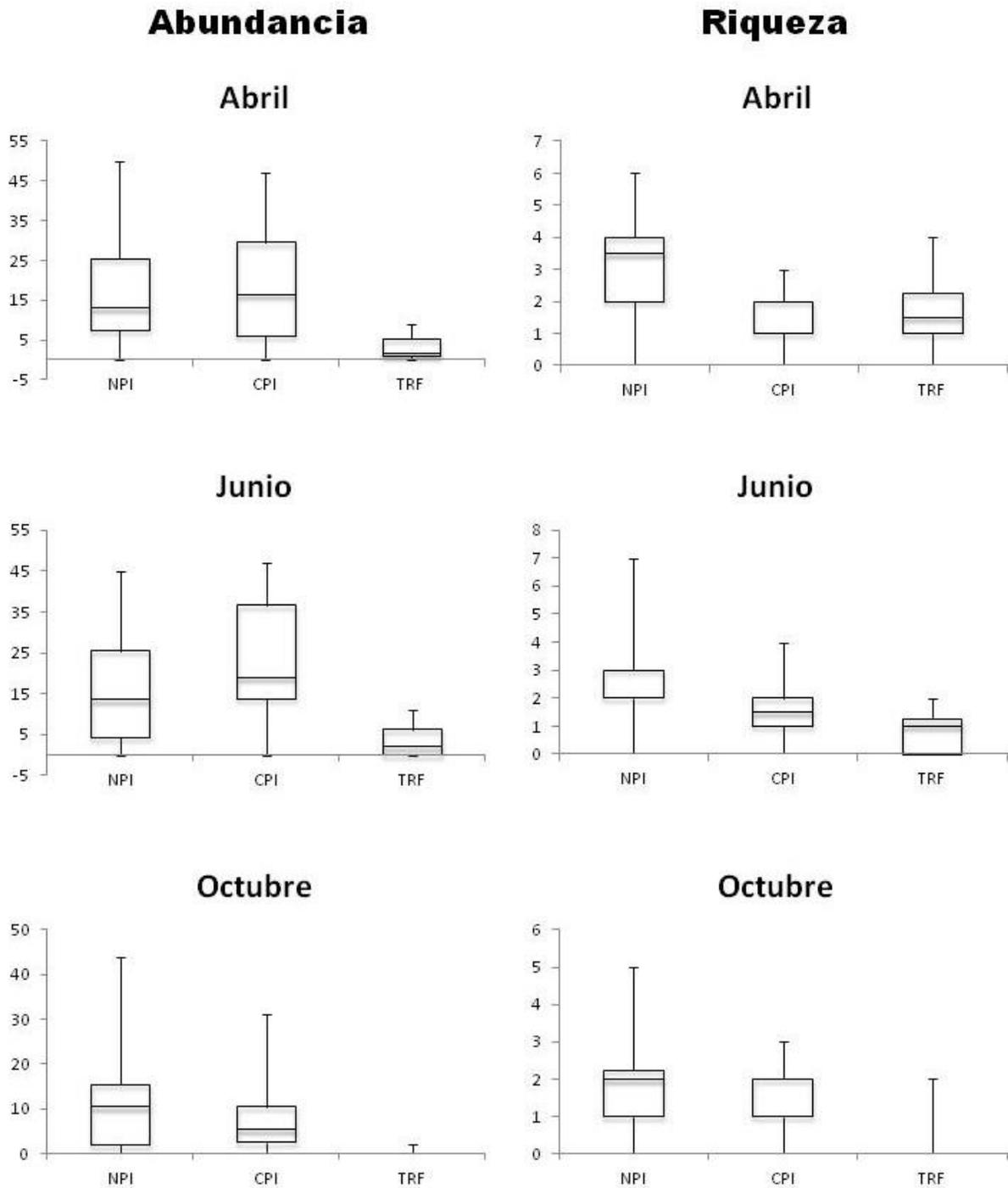


Figura 13. Diagramas de caja de las abundancias y riquezas de los tres sitios en tres colectas en el año. Meses con diferencias significativas entre sitios. NPI=Nacimiento Presa Iturbide, CPI: Cortina Presa Iturbide y TRF: Transfiguración.

Estructura y composición de tricópteros con variación temporal y espacial

El análisis de escalamiento multidimensional (MDS) demostró que los ensambles de tricópteros se encuentran agrupados por sitios y separados por altitud y temporalidad (Figura 14). Al realizar el ANOSIM para comprobar este patrón, este mostró que existe una separación de sitios conforme a la altitud ($R=0.877$, $p=0.001$) y no para los meses de colecta ($R\approx 0$, $p=0.9$).

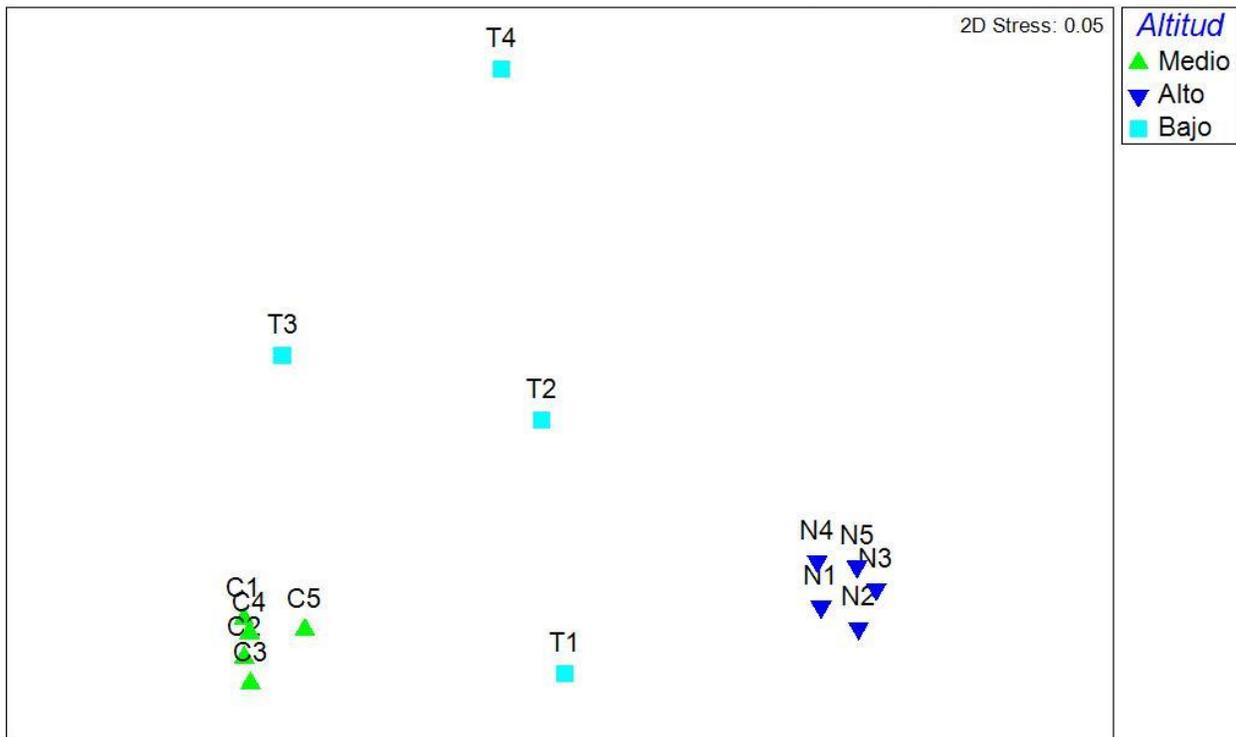


Figura 14. Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS) de los sitios de acuerdo con la altitud. Alto=Nacimiento Presa Iturbide, Medio: Cortina Presa Iturbide y Bajo: Transfiguración.

El análisis SIMPER permitió mostrar las diferencias en la composición de los tricópteros de acuerdo con la altitud y la temporalidad. De esta manera se pudo demostrar la disimilitud entre sitios y la contribución de cada género sobre estas diferencias. Las altitudes presentan una disimilitud promedio de: NPI vs CPI= 73.23%; NPI vs TRF= 67.28%; y CPI vs TRF= 62.86%. Para la disimilitud entre NPI y CPI los géneros que presentan mayor peso en porcentaje en esta diferencia fueron: *Polycentropus* (35.41%), *Glossosoma* (19.41%), *Helicopsyche* (13.47%) y *Nectopsyche* (10.69%) (Cuadro 9). Para NPI y TRF: *Glossosoma* (28.31%),

Helicopsyche (18.66%), *Nectopsyche* (11.84%) y *Polycentropus* (10.46%) (Cuadro 10). Para CPI y TRF: *Polycentropus* (52.56%), *Ochrotrichia* (13.51%) y *Glossosoma* (10.20%) (Cuadro 11).

Cuadro 9. Contribución de los géneros para la disimilitud presentada entre CPI (Cortina Presa Iturbide) y NPI (Nacimiento Presa Iturbide).

Géneros	CPI	NPI	Contribución %	Acumulado %
	Promedio abundancia	Promedio abundancia		
<i>Polycentropus</i>	12.46	0.40	35.41	35.41
<i>Glossosoma</i>	1.94	8.66	19.41	54.82
<i>Helicopsyche</i>	0.00	4.69	13.47	68.29
<i>Nectopsyche</i>	0.20	3.87	10.69	78.98
<i>Limnephilus</i>	0.28	1.82	4.73	83.70
<i>Ochrotrichia</i>	2.45	1.79	3.73	87.43
<i>Hesperophylax</i>	0.40	1.17	3.09	90.52

Cuadro 10. Contribución de los géneros para la disimilitud presentada entre NPI (Nacimiento Presa Iturbide) y TRF (Transfiguración).

Géneros	NPI	TRF	Contribución %	Acumulado %
	Promedio abundancia	Promedio abundancia		
<i>Glossosoma</i>	8.66	1.83	28.31	28.31
<i>Helicopsyche</i>	4.69	0.00	18.66	46.97
<i>Nectopsyche</i>	3.87	0.93	11.84	58.81
<i>Polycentropus</i>	0.40	2.81	10.46	69.27
<i>Ochrotrichia</i>	1.79	0.00	6.80	76.07
<i>Limnephilus</i>	1.82	0.35	6.36	82.43
<i>Hesperophylax</i>	1.17	0.25	4.35	86.79
<i>Lepidostoma</i>	2.27	1.43	4.22	91.01

Cuadro 11. Contribución de los géneros para la disimilitud presentada entre CPI (Cortina Presa Iturbide) y TRF (Transfiguración).

	CPI	TRF		
Géneros	Promedio abundancia	Promedio abundancia	Contribución %	Acumulado %
<i>Polycentropus</i>	12.46	2.81	52.56	52.56
<i>Ochrotrichia</i>	2.45	0.00	13.51	66.07
<i>Glossosoma</i>	1.94	1.83	10.20	76.27
<i>Atopsyche</i>	0.40	1.21	4.47	80.74
<i>Nectopsyche</i>	0.20	0.93	4.46	85.21
<i>Leucotrichia</i>	0.20	0.56	3.18	88.38
<i>Lepidostoma</i>	1.43	1.43	2.53	90.91

Las estaciones (Secas vs Lluvias) presentan una disimilitud promedio de 55.98%. Los géneros con mayor contribución fueron: *Polycentropus* (30.07%) y *Glossosoma* (19.15%) (Cuadro 12).

En contraparte, los géneros con cierta afinidad a los sitios de acuerdo con su altitud son: nacimiento presa Iturbide (NPI): *Glossosoma*, *Helicopsyche* y *Nectopsyche*; cortina presa Iturbide (CPI): *Polycentropus*, *Ochrotrichia* y *Glossosoma*; y Transfiguración (TRF): *Lepidostoma*, *Atopsyche* y *Polycentropus*. Por otra parte, los géneros con una afinidad a la temporada de lluvias fueron: *Polycentropus*, *Lepidostoma* y *Glossosoma*. Y los géneros con afinidad a la temporada de secas son: *Glossosoma*, *Polycentropus* y *Lepidostoma*.

Cuadro 12. Contribución de los géneros para la disimilitud entre temporadas, lluvias (LI) y secas (Sc).

Géneros	SC	LL	Contribución %	Acumulado %
	Promedio abundancia	Promedio abundancia		
<i>Polycentropus</i>	5.28	5.48	30.07	30.07
<i>Glossosoma</i>	4.79	3.95	19.15	49.22
<i>Helicopsyche</i>	1.33	1.93	9.47	58.68
<i>Nectopsyche</i>	2.10	1.44	9.05	67.73
<i>Ochrotrichia</i>	1.80	1.30	7.36	75.09
<i>Limnephilus</i>	0.81	0.88	4.97	80.06
<i>Hesperophylax</i>	1.14	0.25	4.67	84.73
<i>Lepidostoma</i>	1.96	1.56	3.88	88.61
<i>Xiphocentron</i>	0.62	0.00	3.24	91.84

Finalmente, en el análisis de correspondencia canónico (CCA) se pudieron observar dos asociaciones importantes. En la primera, los géneros *Helicopsyche* y *Ochrotrichia* mostraron preferencias por sitios con mayor oxígeno disuelto y se observó una relación con el sitio de NPI, mientras que *Polycentropus* mostró mayor afinidad con el aforo y nutrientes, y se observó una asociación con los sitios de CPI y TRF (Figura 15).

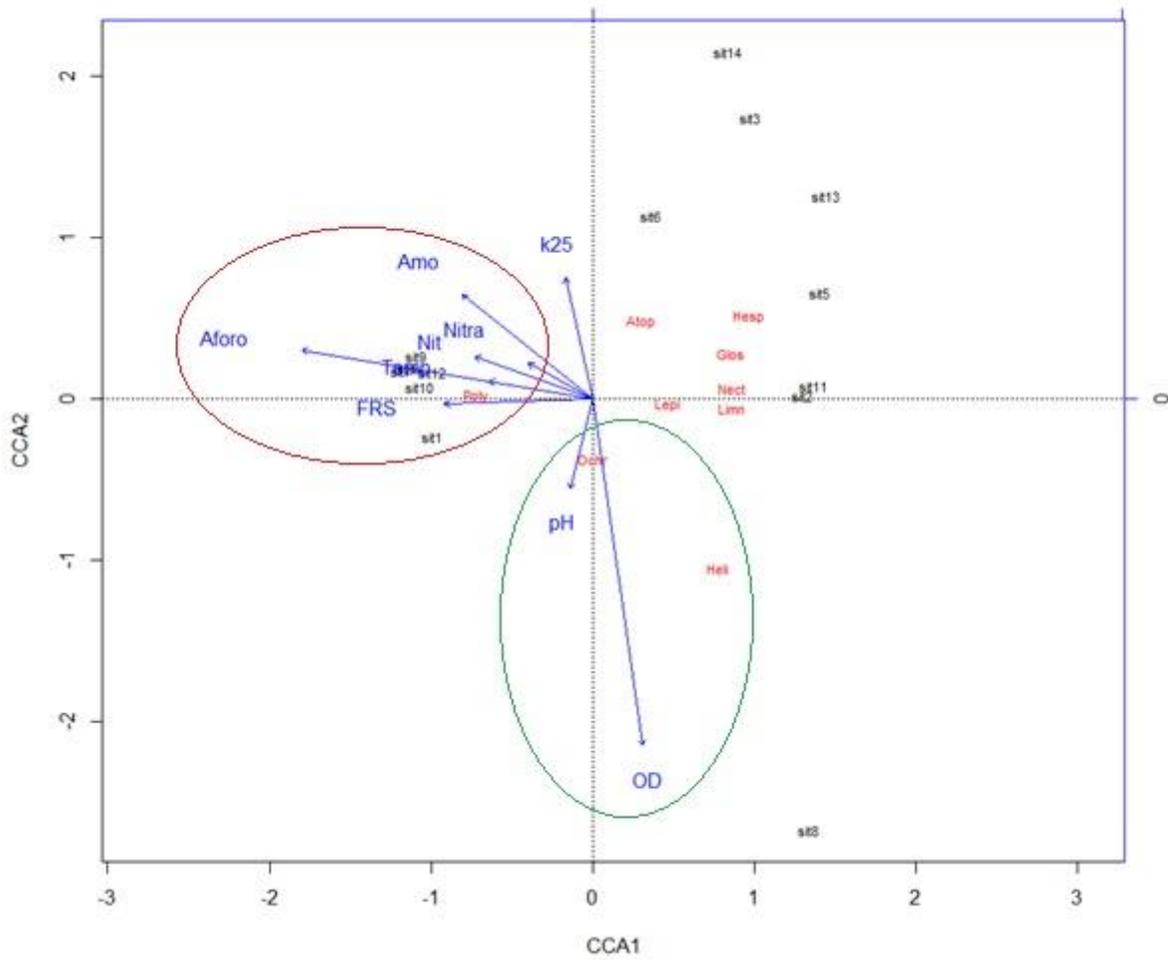


Figura 15. Análisis de correspondencia canónica entre los sitios de colecta, los géneros de tricópteros y las variables ambientales. Atop: *Atopsyche*; Glos: *Glossosoma*; Heli: *Helicopsyche*; Hesp: *Hesperophylax*; Lepi: *Lepidostoma*; Limne: *Limnephilus*; Necto: *Nectopsyche* y Ochro: *Ochrotrichia*; fósforo reactivo soluble (FRS), amonio (Amo), conductividad (k25), nitratos (Nitra), nitritos (Nit), temperatura (Temp), oxígeno disuelto (OD), aforo y pH.

En el cuadro 13 se muestra un resumen de las pruebas estadísticas realizadas en el estudio, así como sus respectivos resultados.

Cuadro 13. Cuadro resumen de pruebas estadísticas y su resultado más relevante.

Prueba estadística	Resultado
Diagrama de Olmstead-Tukey	Los géneros <i>Polycentropus</i> y <i>Glossosoma</i> fueron los más dominantes en el año.
Kruskal-Wallis	Se presentaron diferencias significativas de las abundancias y riquezas vs los tipos de sustrato.
Análisis de escalamiento multidimensional (MDS)	Se observó una agrupación entre los sitios NPI y CPI en cuanto a altitud.
Análisis de similitudes (ANOSIM)	Sugirió que los sitios (NPI y CPI) se agruparon de acuerdo con la altitud y mostró una segregación de los sitios por temporadas.
Análisis de disimilitudes (SIMPER)	<i>Polycentropus</i> y <i>Glossosoma</i> fueron los géneros que más peso tuvieron en cuanto a la disimilitud de los sitios.
BIO-ENV	Sugirió que la variable ambiental con mayor efecto sobre las abundancias fue el aforo.
Análisis de correspondencia canónico (CCA)	Se observaron dos asociaciones: <i>Helicopsyche</i> y <i>Ochrotrichia</i> mostraron preferencias por sitios con mayor oxígeno; <i>Polycentropus</i> mostro una preferencia por sitios con mayores nutrientes y aforo.

Discusión

Composición taxonómica

En México, el orden Trichoptera ha sido estudiado desde el año 1900, teniendo un registro en 29 estados de la república, con una representación aproximadamente de 480 especies. Como otros órdenes de insectos acuáticos, es importante realizar un estudio ecológico, para comprender sus patrones de riqueza y distribución geográfica, así como sus relaciones con diversos factores bióticos y abióticos en los afluentes de los ríos.

La fauna de tricópteros encontrada en el presente estudio está conformada por 10 familias y 12 géneros. Esta riqueza corresponde aproximadamente al 58% de las familias y al 17% del total de géneros de México reportadas para el país. Comparándolo con Temascaltepec, ambos sitios en el Estado de México, donde se colectaron 9 familias y 16 géneros (Rojas, 1995), es una cifra relativamente alta considerando que ambas pertenecen a la Faja Volcánica Transmexicana.

Uno de los géneros con mayor abundancia en el río Cuautitlán fue *Glossosoma* (Glossosomatidae), se recolectó en las tres localidades (altitudes) obteniendo 445 larvas, las cuales representan el 25% del total recolectado. Este género tiene principalmente una distribución holártica y oriental. Solo una especie está registrada para América del Norte, *G. ventrale* Banks, que se extiende hacia el sur hasta el centro de México. Las larvas de este género viven en rocas y otros substratos en corrientes rápidas y frías (Holzenthall y Calor, 2017). Las larvas están especializadas para vivir y alimentarse en la parte superior de las rocas expuestas en la superficie. Gracias a su morfología bucal de tipo “raspadora”, se alimentan de diatomeas y otras algas que crecen en la superficie de las rocas (Wiggins, 1996, Bueno-Soria, 2004). Viven en ríos templados de baja corriente y también en ríos con corriente alta (Bueno-Soria, 2010). En gran parte de las rocas del presente estudio fue notoria la

presencia de algas, particularmente de diatomeas y por ende entendible la gran abundancia de *Glossosoma*.

Helicopsyche (Helicopsychidae) se recolectó únicamente en el sitio de mayor altitud, y cuya abundancia representó el 7.5 % del total de las larvas recolectadas en el estudio. Fue el único género colectado de la familia Helicopsychidae, de la cual actualmente se reconocen cerca de 250 especies alrededor del mundo. Generalmente se alimentan de algas y detritus que crecen sobre las rocas sumergidas en ríos con corrientes rápidas a lentas (Bueno-Soria, 2010). Algunas especies de *Helicopsyche*, pueden estar presentes en lagos con nula corriente, y *H. borealis* se ha encontrado en sitios de aguas termales teniendo una gran tolerancia a altas temperaturas (Wiggins, 1996). Las larvas de esta familia viven ríos con corrientes moderadas a lentas y su alimentación es de tipo “raspador” alimentándose del perifiton en rocas de arroyos (Holzenthall y Calor, 2017).

Uno de los géneros con menor abundancia recolectado fue *Atopsyche* (Hydrobiosidae), sin embargo, se encontró en los tres sitios (altitudes). Este es el género más diverso de la familia, cuenta con 125 especies descritas y se distribuyen desde el norte de América hasta Centroamérica. Sus larvas no construyen refugio y viven en aguas de corriente rápida y fría, con material pedregoso y con materia orgánica (Bueno-Soria, 2010). *Atopsyche* fue el único género colectado de la familia Hydrobiosidae. Existen 22 géneros en el continente, sin embargo, todos menos un género, son endémicos para Argentina y Chile, el único género que se encuentra en México es *Atopsyche* (Holzenthall y Calor, 2017) lo que representa un registro interesante para el área de estudio.

El género *Ochrotrichia* se presentó únicamente en los sitios de mayor altitud con un total de 56 larvas. Las especies de este género se encuentran en toda América y al este de la India (Holzenthall y Calor, 2017). Los hábitats de los ejemplares colectados en el río Cuautitlán corresponden a temperaturas templadas, tal como lo señala Bueno-Soria (2005) para este género. Por otra parte, el género *Leucotrachia*

se encontró en dos de las tres localidades donde se recolectaron solo 6 ejemplares, siendo un ejemplar "raro". Las especies de este género se distribuyen en todo Norteamérica y una pequeña parte del norte de Sudamérica. Están firmemente pegados a una roca en corrientes de corriente rápida. Ambos géneros corresponden a la familia Hydroptilidae, comúnmente llamados microtricópteros, es una de las familias más ricas y diversas (Holzenthal y Calor, 2017).

Lepidostoma (Lepidostomatidae) se recolectó en los tres sitios (altitudes) y se obtuvieron 49 larvas. Las especies Neotropicales están restringidas a arroyos en altitudes mayores a los 1000 m. Las muestras obtenidas en el río Cuautitlán fueron a una temperatura baja del agua y al menos en una localidad muy cerca de los nacimientos, lo cual es acorde a lo mencionado por Wiggins (1996) y Bueno-Soria (2010) para este género. Actualmente se conocen 25 especies en la zona Neotropical, por lo que su colecta podría arrojar nuevas especies para el género (Holzenthal y Calor, 2017). Las larvas son detritívoras y se les encuentra asociadas a hojas caídas o en las zonas "litorales de poca corriente". El hábitat donde se les encuentra es en arroyos fríos y limpios, generalmente en zonas montañosas de bosques de pino, como fue el caso de nuestra área de estudio.

El género *Nectopsyche* (Leptoceridae) se colectó en los tres sitios (altitudes) y se obtuvieron 57 larvas. Se han descrito alrededor de 57 especies en América, su distribución va desde el sur de Canadá hasta el sur de Sudamérica. Se encuentran en una variedad amplia de hábitats, incluyendo ríos grandes y pequeños, cascadas e incluso ambientes semi-terrestres, tanto a grandes altitudes como bajas. Aunque su abundancia fue baja en el presente trabajo, la variedad de hábitats donde fue encontrado concuerda con su amplitud trófica, ya que como lo mencionan Bueno-Soria (2010) y Holzenthal y Calor (2017) Wiggins (1996) generalmente son detritívoros, pero pueden ser omnívoros o depredadores.

Hesperophylax (Limnephilidae) se presentó en todas las altitudes con solo 16 larvas. En total existen 7 especies de este género y solamente se distribuyen en las montañas del este de Estados Unidos de América y en la Faja Volcánica

Transmexicana, en donde están presentes 2 especies (Holzenthal y Calor, 2017). Aparentemente pueden ser omnívoros, alimentándose de materia vegetal y animal (Holzenthal y Calor, 2017). También, el género *Limnephilus* (Limnephilidae) estuvo presente en los tres sitios. Pueden habitar en ríos pequeños o lagos de temperatura fría, con una buena oxigenación y con suficiente materia vegetal que es su principal alimento (Wiggins, 1996; Bueno-Soria, 2010).

El género de mayor abundancia (864 larvas) colectado en el río Cuautitlán fue *Polycentropus* (Polycentropodidae). Las larvas de este género habitan una gran variedad de hábitats acuáticos, pero la mayoría se encuentra en remansos de baja corriente, pozas en arroyos, o en hábitats lénticos, lo cual concuerda en lo general con lo obtenido en nuestros muestreos. Las larvas se alimentan de quironómidos, lepidópteros, crustáceos pequeños y ácaros terrestres que caen al agua (Bueno-Soria, 2010). En términos alimenticios, predomina los depredadores, aunque en algunas ocasiones pueden alimentarse de materia vegetal (Bueno-Soria, 2005; Holzenthal y Calor, 2017).

El género *Xiphocentron* (Xiphocentronidae) se recolectó en dos sitios (NPI y TRF) con solo cinco individuos. Está bien distribuido en toda Asia, África y América (Wiggins, 1996; Holzenthal y Calor, 2017). Se alimentan de algas que crecen sobre las piedras, son móviles y crean refugios portátiles. Construyen refugios de seda y piedrecillas adheridos a las paredes de roca sobre la superficie del río (Wiggins, 1996; Bueno-Soria, 2010).

Importancia del flujo de agua en los ensambles de tricópteros

La corriente de agua es el componente que impera en los sistemas lóticos y regula en gran medida muchos de los procesos que ocurren al interior de los ríos. La velocidad de corriente en los sistemas fluviales representa la variable física más importante y que más afecta a los organismos en los ríos. Esta variable limitante afecta los recursos alimentarios removiendo nutrientes y comida del fondo acuático,

además de que este factor representa una fuerza física directa a los organismos. Sin embargo, la forma, el tamaño y el estilo de vida de los organismos determinan como es que son afectadas las especies en su hábitat (Allan, 1995).

En los sitios de muestreo se presentó una alta variabilidad en los sitios de cortina presa Iturbide (CPI) y Transfiguración (TRF), siendo Transfiguración el sitio con el aforo más alto registrado. Por el contrario, el sitio nacimiento presa Iturbide presento variación más allá de las mostradas en temporada de lluvias. Estas variaciones con respecto al sitio NPI, se pueden deber en gran medida al flujo regulado por parte de la presa que se encuentra río arriba del sitio cortina presa Iturbide (CPI), y también en el sitio Transfiguración (TRF) se cuenta con una presa de gaviones que se encuentra metros arriba del sitio. Estos factores externos del elemento natural del río afectan en gran medida la hidrogeomorfología del sitio, alterando los hábitats de los tricópteros. Estos sitios presentaron una abundancia y riqueza menores a los registrados en Nacimiento presa Iturbide (NPI). Los valores más bajos de abundancias y riquezas fueron registrados en la colecta de octubre del sitio TRF.

Cabe señalar que, hubo un evento importante de inundación en el mes de agosto en el sitio TRF causando una remoción de material mineral y una posible pérdida de hábitats para los tricópteros, demostrado por las abundancias obtenidas de la colecta de octubre en donde solo se registraron 4 géneros, uno de ellos *Glossosoma*. Sin embargo, este género que tiene la capacidad funcional de sortear estas variaciones en la corriente de agua, ya que cuenta con un refugio en forma de caparazón que le ayuda a repeler el fuerte flujo de agua (Hershey, 2010). De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis de BEST y el ACC (ver Figura 15) nos permite reconocer que el aforo es la variable ambiental más importante que explica la composición de los tricópteros en el río Cuautitlán.

La corriente es un factor determinante en las dinámicas de las comunidades bentónicas, ya que los ambientes poco estables se caracterizan por tener una baja diversidad de especies. De esta manera, el impacto del sobreflujo en el sistema puede ocasionar una eliminación directa de la biota bentónica (Layzer *et al*, 1989; Bunn y Arthington, 2002).

También, en un estudio realizado por Munn y Brusven (1991) observan que, en corrientes reguladas artificialmente como presas, la riqueza de los invertebrados es mucho menor que un río sin intervención artificial del flujo, además pueden llegar a existir la dominancia de un taxón en específico en estos sitios regulados, por lo que la diversidad disminuye notablemente. A pesar de la variación en el flujo del río a lo largo del año, los géneros *Glossosoma* y *Poycentropus* fueron dominantes en los sitios cortina presa Iturbide (CPI) y Transfiguración (TRF) aún después de los periodos de variación del flujo de agua.

El sustrato como factor limitante (microhábitat)

El sustrato provee un hábitat, alimento y protección en la mayoría de los casos. Los insectos exhiben un modo de vida bentónico predominante en las etapas juveniles de su historia de vida. Por este motivo es que el sustrato es un factor determinante para el establecimiento y la distribución de los insectos acuáticos (Ward, 1992).

En el presente estudio, se observó que en el sitio con mayor altitud predominaron los sustratos con algún elemento vegetal. Además, parece existir una preferencia de sustrato en los tricópteros debido a que los cambios ambientales no se ven modificados fuertemente a lo largo del año, por lo que los géneros parecen ser selectivos en cuanto a la complejidad y la oferta del sustrato, es decir, parece haber una fuerte selección de los tricópteros por un sustrato. Debido a las características de los sitios y la diversidad de los grupos funcionales presentes, puede ser indicador de sitios fuertemente estables y con una buena interacción con el medio externo (Cummins *et al.*, 2005). Por lo tanto, la riqueza y diversidad parece estar más fuertemente relacionada con la heterogeneidad y estabilidad ambiental del sustrato. Además de haber una fuerte selección por sustratos más grandes (Urbanič *et al.*, 2005).

Las distribuciones espaciales de los tricópteros mostraron diferencias en su preferencia de hábitat (Urbanič *et al.*, 2005), confirmado por el análisis de Kruskal-Wallis (ver Cuadro 8), el cual mostró una diferencia significativa entre los tres tipos de sustratos, reafirmando la importancia del microhábitat como limitador de los

ensambles de tricópteros. De las tres categorías de sustrato registrados en campo, el más fino (arena o lodo) mostró las abundancias más bajas en los tres sitios de muestreo. Esto se puede deber a una alta aglomeración de partículas finas que puede llegar a reducir los niveles de oxígeno, imposibilitando un posible refugio para algunos tricópteros (Allan, 1995; Hershey, 2010). Por el contrario, parches con sustratos de material más grandes y/o con algún componente vegetal (macrófitas, algas, troncos secos u hojas) mostraron abundancias y riquezas más grandes. Estos sustratos complejos tienden a ser “hotspots” de diversidad, ya que otorgan una mejor oferta de alimento y hábitat para los tricópteros (Anderson y Sedell, 1979; Hershey, 2010).

Muchas especies exhiben distintas preferencias por algún tipo de sustrato bentónico. Esta cercana asociación refleja las preferencias por algún requerimiento por refugio, necesidades para la respiración o hábitos alimenticios (Ward, 1992). En el sitio nacimiento presa Iturbide los grupos funcionales raspadores y fragmentadores fueron los grupos dominantes a lo largo del año, estos tienen preferencias particulares de alimentación (Cuadro 3 y 4). Los raspadores (*Glossosoma*, *Helicopsyche* y *Leucotrichia*) por ejemplo, consumen una diversidad de recursos, incluyendo algas, biofilms de bacterias, hongos o algas (Lock *et al.*, 1984; Ramírez y Gutiérrez, 2014). Mientras que los fragmentadores (*Nectopsyche*, *Hesperophylax* y *Limnephilus*) se alimentan de la hojarasca viva o en descomposición o de madera de troncos que caen al río (Ramírez y Gutiérrez, 2014). Por otro lado, los sitios cortina presa Iturbide (CPI) y Transfiguración (TRF) mostraron una alta dominancia del grupo funcional de los depredadores, este grupo lo componen los géneros *Polycentropus* y *Atopsyche* (Cuadro 3 y 4). Este grupo funcional tiene una importante función en el ecosistema ya que tienen el potencial de regular las poblaciones de otros organismos, regulando la energía dentro del sistema (Ramírez y Gutiérrez, 2014).

Mackay y Kalff (1969) demostraron que las abundancias y número de especies varían de acuerdo con varios tipos de sustrato. Los números más altos que registraron se presentaron con sustratos orgánicos más que en algún sustrato mineral. Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con esta

perspectiva, siendo que existieron diferencias significativas entre los tipos de microhábitat (sustrato), registrando las más altas con algún elemento vegetal en el sustrato (ver Cuadro 8).

En general, la diversidad y la abundancia se incrementan con la estabilidad del sustrato y la presencia de detritus orgánico. Además, otros factores juegan un papel importante como el tamaño de partículas mineral, la variedad de tamaños y la textura de la superficie mineral (Allan, 1995). De acuerdo con los resultados, el sitio NPI mostro una alta estabilidad de sustratos a lo largo del año, esto se vio reflejado con muestras altamente abundantes y con una alta riqueza a lo largo del año, mostrados en gran medida a la estabilidad del sustrato y a las pocas fluctuaciones de flujo en el sitio. Los ríos de alta montaña son sitios muy heterogéneos, llegando a encontrar en un transecto de unos cuantos metros una gran variabilidad de sustratos, además de áreas con mucha materia orgánica como troncos, hojarasca y partículas finas (Allan, 1995).

Diversidad en la preferencia de microhábitats y mesohábitats

La preferencia de sustrato y la afinidad por microhábitats y mesohábitats son característicos de los tricópteros (Allan, 1995; Huryn y Wallace, 1987). En los microhábitats, se observaron diferencias significativas entre las tres categorías de sustrato y las abundancias/riqueza de los tricópteros. De acuerdo con estos resultados, se sugiere que existe una fuerte preferencia por sustratos vegetales, ya que estos pueden ofrecer un refugio y/o alimentación (Anderson y Sedell, 1979; Hershey, 2010).

Por el contrario, en los mesohábitat no se encontraron diferencias notables. De acuerdo con Huryn y Wallace (1987), las comunidades de invertebrados acuáticos deben adaptarse funcionalmente a ambientes físicos muy diferentes para obtener recursos alimenticios, evidenciando los marcados contrastes entre estos parches que definen la estructura funcional de las comunidades. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre las cuatro categorías de parches y las

abundancias/riquezas de los tricópteros. En este sentido, los parches que se categorizaron fueron: pozas, borbotones, rápidos y litoral.

Variación espacial y temporal

A escala local, la variación espacial de los organismos está determinada por su comportamiento, como la búsqueda de recursos y el refugio para evitar depredadores que a su vez está claramente influenciado por las características del sustrato. A escalas mayores, el sustrato influye en los patrones de movimiento de los organismos, como respuesta a la falta de algún nicho a ocupar (Cooper *et al*, 1997; Boyero, 2003).

Los resultados del análisis de escalamiento multidimensional (MDS) y el análisis de similitudes (ANOSIM) sugieren que la composición de larvas de tricópteros mostró una variación espacial muy marcada en cuanto a los sitios (ver Figura 14), ya que en el sitio con mayor altitud se registraron taxones que se requieren condiciones de hábitat muy particulares, ambientes con baja intervención antropogénica, poca regulación del flujo de agua y sustratos estables a lo largo del año; mientras que en las partes de menor altitud se registraron aquellos géneros con características más tolerantes a ambientes cambiantes físicos o de condiciones fisicoquímicas del agua.

Los análisis SIMPER permitieron conocer los géneros con ciertas afinidades a los tres sitios. De acuerdo con su altitud, nacimiento presa Iturbide (NPI): *Glossosoma*, *Helicopsyche* y *Nectopsyche*; cortina presa Iturbide (CPI): *Polycentropus*, *Ochrotrichia* y *Glossosoma*; y Transfiguración (TRF): *Lepidostoma*, *Atopsyche* y *Polycentropus* (ver Cuadros 9, 10 y 11).

Específicamente, *Glossosoma*, *Helicopsyche* y *Nectopsyche* presentaron una mayor afinidad al sitio más elevado, esto sugiere una restricción de estos géneros a condiciones ambientales particulares y a condiciones específicas del hábitat. Al estar en ambientes más estables, la oferta de alimento y refugio se mantendrá constante en el año. Dudley *et al* (1986) refiere que existe una alta relación entre la presencia de algunas especies de macroalgas en el río y, altas densidades y riqueza

de invertebrados, menciona por ejemplo que *Ochrotrichia* puede sufrir un decremento en sus poblaciones cuando se remueve el alga *Cladophora*, pero esta relación no siempre es positiva, en presencia de algunas macrófitas puede existir una reducción de algunas especies de invertebrados.

Por otro lado, el género *Polycentropus* mostró una alta recurrencia con considerables abundancias en el año en los sitios cortina presa Iturbide (CPI) y Transfiguración (TRF), demostrando su gran capacidad de tolerar ciertas condiciones ambientales. De acuerdo con Caro *et al.* (2016), la familia Polycentropodidae se ubica en una categoría de organismo tolerante. Además de las características generalistas del género, al presentarse un hábitat modificado o alterado, este tiene la capacidad de desplazarse al sitio con mayor oferta de alimento. Esto se demuestra con mayor claridad en el sitio Transfiguración (TRF), en donde hubo una mayor dinámica y modificación en el ambiente. Se mostró que a lo largo del año a pesar de que hubo una modificación en el ambiente físico y químico del río, las poblaciones del género *Polycentropus* se mantuvieron en el sitio a pesar de los cambios.

Los resultados del análisis de escalamiento multidimensional (MDS) y del análisis de similitudes (ANOSIM) sugieren que la temporalidad no es un fenómeno importante en la composición de los ensambles, esto puede ser porque los parámetros ambientales no fueron tan variantes y se mantuvieron estables a lo largo del año. A pesar de que el análisis de correspondencias canónico (ACC) y el análisis BIOENV mostraran que el aforo y el oxígeno disuelto fueron variables que de alguna manera se correlacionaron con las abundancias de ciertos géneros, estas no sufrieron mucha variación en el año y no pudieron explicar la variación temporal.

Por otra parte, las variables químicas como el oxígeno disuelto afectan directamente a la vida acuática a través de su disponibilidad en el sistema. También los nutrientes, como el fosfato y las formas químicas del nitrógeno, que influyen directamente en la producción primaria de los sistemas, y su exceso se le considera un contaminante

en los sistemas lóuticos, afectando en gran medida la diversidad en los ríos (Savić *et al.*, 2013), y de acuerdo al análisis de correspondencias canónicas, estas variables químicas fueron medianamente importantes, existiendo una correlación entre el oxígeno disuelto y los géneros *Ochrotrichia* y *Helicopsyche* y entre el fosforo reactivo y *Polycentropus*.

El género dominante en el estudio fue *Polycentropus* representando el 50 % de todos los individuos colectados, siendo en Cortina Presa Iturbide la mayor frecuencia y abundancia. El segundo género con más abundancia fue *Glossosoma* con el 26 %, este género estuvo bien representado en los tres sitios colectados. La riqueza fue mayor en el sitio nacimiento presa Iturbide, el cual es el sitio de mayor altura (3,500 msnm). Estas características se mantuvieron durante todo el año, teniendo poca variación de estos parámetros biológicos a lo largo del año. Sin embargo, el sitio con mayor abundancia fue cortina presa Iturbide, que estuvo fuertemente representado por el género *Polycentropus*, el género dominante durante el año y con una abundancia superior a los demás géneros. Por su parte, el sitio Transfiguración fue el más variable y cambiante durante el año en cuanto a la composición de tricópteros, la presencia de una presa de gaviones y las variaciones en el flujo de agua pudieron ser un factor importante para que las características microambientales y mesoambientales se vieran modificadas, por lo que en época de lluvias se modificó fuertemente el cauce y el ambiente físico del río.

Conclusiones

1. Se encontraron 12 géneros de tricópteros, siendo *Polycentropus* el género más abundante. El sitio con mayor riqueza fue el nacimiento presa Iturbide con un total de 10 género registrados.
2. La localidad con características ambientales desfavorables y con las abundancias más bajas fue el de menor altitud (Transfiguración).

3. La altitud tuvo un efecto significativo importante sobre la riqueza y abundancia. No fue así para los distintos mesohábitats (borbotón, rápidos, poza y litoral).
4. En un nivel del microhábitat, el sustrato mostró diferencias significativas de las abundancias entre las tres localidades, evidenciando la importancia que tiene en la formación de nichos y el establecimiento de ensambles de tricópteros.
5. Este gradiente altitudinal corresponde al conjunto de sitios de muestreo por cada una de las tres localidades de estudio, en las cuales el análisis de escalamiento multidimensional (MDS) y el análisis de similitudes (ANOSIM) permitió evidenciar las diferencias entre ellas.
6. La categorización ecológica de los géneros, con base en el análisis de Olmstead-Tukey obtuvo ligeras variantes para cada mes de muestreo, aunque generalmente se mantuvieron *Polycentropus*, *Glossosoma* y *Nectopsyche* como dominantes y *Leucotrichia* y *Atopsyche* como raros.
7. En los análisis de correspondencias canónico (ACC) y el BIO-ENV, el aforo resultó ser una variable física importante y determinante en los ensambles de tricópteros.
8. Los distintos parámetros fisicoquímicos presentaron una evidente variación a lo largo del año, particularmente en la localidad de menor altitud. Aquellos referidos al oxígeno fluctuaron más en las localidades de mayor altitud.
9. A pesar de que los factores químicos, tales como el oxígeno disuelto y los nutrientes juegan un papel fundamental en los ecosistemas, en este estudio los resultados no mostraron algún efecto notable sobre la abundancia y riqueza de los tricópteros.

10. Este estudio se presenta como la base ecológica para un posible plan de monitoreo en la microcuenca del río Cuautitlán, Estado de México.

Referencias

- Alba-Tercedor, J.** 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA), Almería, vol. II:203-213.
- Allan, D. J.** (1995) Stream Ecology, Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, Oxford, 388 pp.
- Anderson, N. H. & J. R. Sedell.**1979. Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. Annual Reviews of Entomology. 24: 351–377.
- APHA, AWWA, WPCF.** 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Ed. Washington.
- Banks, N.** 1900. New Genera and Species of Nearctic Neuropteroid Insects. Transactions of the American Entomological Society, 26: 239-259.
- Banks, N.** 1901. A list of Neuropteroid insects from Mexico. Transactions of the American Entomological Society,27:361-371.
- Banks, N.** 1904. Neuropteroid insects from Mexico. Transactions of the American Entomological Society, Vol. 30: 236-243.
- Banks, N.** 1905. Descriptions of new Nearctic Neuropteroid Insects. Transactions of the American Entomological Society,32: 1-20.
- Barba-Álvarez, R.** 1991. Revisión taxonómica del género *Polycentropus* Curtis para México. (Trichoptera: Polycentropodidae). Tesis profesional, Facultad de Ciencias. U.N.A.M. 98 p.
- Barba-Álvarez, R. & J. Bueno-Soria.** 2005. New species of the genus *Polycentropus* Curtis (Trichoptera: Polycentropodidae) from Mexico. Proceedings of the Entomological Society of Washington, 107(3): 663-670.
- Bojorge, M., J. Carmona., M. Cartajena & Y. Beltrán.** 2010. Temporal and spatial distribution of macroalgal communities of mountain streams in Valle de Bravo Basin, central México. Hydrobiologia 641:159-169.
- Boyero, L.** 2003. The quantification of local substrate heterogeneity in streams and its significance for macroinvertebrate assemblages. Hydrobiologia, 499, 161–168.

Bueno-Soria, J. 1977. Una nueva especie de *Ochrotrichia* Mosely (Insecta: Trichoptera: Hydroptilidae) Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología, 48 (1): 141-144.

Bueno-Soria, J. 1981. Estudios en insectos acuáticos de México I (Trichoptera: Leptoceridae). Cinco nuevas especies de *Oecetis* Mc Lachlan. Folia Entomológica Mexicana, 49:103-120.

Bueno-Soria, J. 1983a. Three new species of *Ochrotrichia* (*Metrichia*) from Chiapas, México (Trichoptera: Hydroptilidae). Proceedings of the Biological Society of Washington, 96 (1): 79-83.

Bueno-Soria, J. 1983b. Five new species of caddisflies (Trichoptera) from Mexico. Proceedings of the Biological Society of Washington, 85(3). 450-455.

Bueno-Soria, J. 1984a. Three new species of the genus *Propoptila* from Mexico and Costa Rica (Trichoptera: Glossosomatidae) Proceedings of the Biological Society of Washington, 97(2). 392-394.

Bueno-Soria, J. 1985. Estudios en insectos acuáticos III. Cinco nuevas especies de *Chimarra* Stephens (1829) de México y Centroamérica (Trichoptera: Philopotamidae) Folia Entomológica Mexicana, 59:79-138.

Bueno-Soria, J. 1986. Estudios en insectos acuáticos VIII. Cinco nuevas especies de tricópteros de México y Costa Rica (Trichoptera: Hydropsychidae). Folia Entomológica Mexicana, 68: 53-65.

Bueno-Soria, J. 1990. Estudios en insectos acuáticos VIII. Revisión para México y Centroamérica del género *Polyplectropus* Ulmer (Trichoptera: Polycentropodidae) Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología, 61:357-404.

Bueno-Soria, J. 1996. Trichoptera. En, Llorente, B, J. García, A, A. González, S, E. Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. (pp. 501-511). Instituto de Biología. Mexico, D.F.

Bueno-Soria, J. 2004. Insectos del orden Trichoptera de la Sierra Tarahumara, Chihuahua, México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB- CONABIO proyecto No. X007. México, D.F.

Bueno-Soria, J. 2010. Guía de identificación ilustrada de los géneros de larvas de insectos del orden Trichoptera de México. Instituto de Biología, UNAM.

Bueno-Soria, J. & R. Barba-Álvarez. 1999. Studies in aquatic insects XVI: two new species of microcaddisfly genus *Mejicanotrichia* (Trichoptera:Hydroptilidae) from Mexico. Entomological News, 110: 118-122.

Bueno-Soria, J. & R. Barba-Álvarez. 1999. Studies in aquatic insects XVII: New species of *Metrichia* (Trichoptera:Hydroptilidae) from Mexico. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología, 70(1): 29-33.

Bueno-Soria, J. & A. Contreras-Ramos. 1986. Estudios en insectos acuáticos IV. Descripción de tres nuevas especies de tricópteros del género *Lepidostoma*: (Trichoptera: Lepidostomatidae) de México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología, 56: 207-212.

Bueno-Soria, J. & O. S. Flint Jr. 1978. Catálogo sistemático de los Tricópteros de México (Insecta: Trichoptera), con algunos registros de Norte, Centro y Sudamérica. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología, 49 (1): 189-218.

Bueno-Soria, J. & S. W. Hamilton. 1986. Estudios en Insectos Acuáticos VI: cinco especies nuevas de tricópteros de México: (Trichoptera: Polycentropodidae; Hydroptilidae; Hydropsychidae). Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología. 57(19): 137-144).

Bueno-Soria, J. & A. R. Harris. 1993. Estudios en insectos acuáticos de México IX. Cuatro nuevas especies del género *Alisotrichia* (Trichoptera: Hydroptilidae). Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología, 64(1): 49-60.

Bueno-Soria, J. & R. W. Holzenthal.1986. Estudios en insectos acuáticos V. Descripción de tres nuevas especies de Tricópteros de México: (Trichoptera: Philopotamidae). Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología, 57:137-144.

Bueno-Soria, J. & S. Santiago-Fragoso. 1979. Una nueva especie del género *Protophila* Banks (Trichoptera: Glossosomatidae) de Veracruz, México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología, 50 (1): 477-480.

Bueno-Soria, J. & S. Santiago-Fragoso. 1996a. Studies in aquatic insects X: descriptions of five new species of the genus *Culoptila* (Trichoptera: Glossosomatidae) from Mexico. Proceedings of the Biological Society of Washington, 109: 449-452.

Bueno-Soria, J. & S. Santiago-Fragoso. 1996b. Estudios en insectos acuáticos XIII. Especie nueva del género *Hydroptila* (Trichoptera: Hydroptilidae) de Veracruz, México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología, 67: 343-347.

Bueno-Soria, J. & S. Santiago-Fragoso.1997. Studies in aquatic insects XII: Descriptions of nineteen new species of the genus *Ochrotrichia* Mosely (Trichoptera: Hydroptilidae) from Mexico and Central America. Proceedings of the Biological Society of Washington, 99: 359-373.

Bunn, S. E. & A. H. Arthington. 2000. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. Environmental Management Vol. 30, No. 4, pp. 492–507.

Caro, A., J. Carmona & M. Mazari. 2016. Evaluation of ecological quality in peri-urban rivers in Mexico City: a proposal for identifying and validating reference sites using benthic macroinvertebrates as indicators. Journal of Limnology, 2016; 75: 1-16.

Clarke, K. R. & R. N. Gorley. 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, 192pp.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016. Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas del Estado de México. Fecha de consulta: Abril 2016. Disponible en: http://smn.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=189:estado-de-mexico&catid=14:normales-por-estacion

Cooper, S. D., L. Barmuta, O. Sarnelle, K. Kratz, & S. Diehl. 1997. Quantifying spatial heterogeneity in streams. *Journal of the North American Benthological Society*. 16: 174–188.

Cummins, K. W., R. W. Merritt & P. C. N. Andrade. 2005. The use of invertebrates functional groups to characterize ecosystem attributes streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40(1): 69-89.

Downes, B. J., P. S. Lake, & E. S. G. Schreiber. 1993. Spatial variation in the distribution of stream invertebrates: implications of patchiness for models of community organization. *Freshwater Biology* 30:119–132.

Dudley, T. L., S. D. Cooper & N. Hemphill. 1986. Effects of Macroalgae on a Stream Invertebrate Community. *Journal of the North American Benthological Society*, Vol. 5, No. 2: pp.93-106.

Elosegi, A. & S. Sabater. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA.

Encalada A. C., M. Rieradevall, B. Ríos-Touma, N. García & N. Prat. 2011. Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S). USFQ, UB, AECID, FONAG, Quito.

Flint, O. S. 1967a. Studies on Neotropical Caddisflies, IV: New species from Mexico and Central America. *Proc. U. S. N. M.* 123 (3608): 1-24.

Flint, O. S. 1967b. Studies of Neotropical Caddisflies, VI: On a collection from northwestern Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 69: 162-176.

- Flint, O. S.** 1972. Studies of Neotropical Caddisflies, XIII: The genus *Ochrotrichia* from Mexico and Central America (Trichoptera: Hydroptilidae). Smithsonian Contribution Zoology. 118: 1-28.
- Flint, O. S.** 1974. Studies of Neotropical Caddisflies, XVII: The genus *Smicridea* from North and Central America (Trichoptera: Hydropsychidae) Smithsonian Contribution Zoology. 167: 1-67.
- García, E.** 2004. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. México.
- Hellawell, J.** 1986. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier Applied Science Publ. London & New York.
- Hershey, A. E., G. A. Lamberti, D. T. Chaloner & R. M. Northington.** 2010. Aquatic Insect Ecology. In: Thorp, J., Rogers, D.C. (Eds.), Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Academic Press, 659–694.
- Holzenthal, R. W. & A. R. Calor.** 2017. Catalog of the Neotropical Trichoptera (Caddisflies). ZooKeys 654: 1–566
- Holzenthal, R. W., J. C. Morse & K. M. Kjer.** 2011 Order Trichoptera Kirby, 1813. In: Zhang Z-Q (Ed.) Animal Diversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. Zootaxa 3148: 209–211.
- Holzenthal, R. W., R. E. Thomson & B. Ríos-Touma.** 2015. Order Trichoptera. In: Thorp, J., Rogers, D.C. (Eds.), Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Academic Press, 965–1002.
- Houghton D.** 2012 Biological diversity of the Minnesota caddisflies (Insecta, Trichoptera). ZooKeys 189: 1-389.
- Huryn, A. D. & B. Wallace.** 1987. Local Geomorphology as a determinant of macrofaunal production in a mountain stream. Ecology, 68 (6): 1932-1942.
- J. F. Oksanen, F. G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlinn, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. Henry, H. Stevens,**

E. Szoecs & H. Wagner (2017). vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-3. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

Lake, P. S.2000. Disturbance, patchiness, and diversity in streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 19(4):573–592.

Lampert, W. & U. Sommer.2007. Limnoecology. The ecology of lakes and streams. Second edition. Oxford Press.

Layzer, J. B., T. J. Nehus, W. Pennington, J. A. Gore, & J. M. Nestler.1989. Seasonal variation in the composition of drift below a peaking hydroelectric project. *Regulated Rivers: Research and Management* 3:305–317.

Legorreta, J. 2009. Ríos, lagos y manantiales del valle de México. Universidad Autónoma Metropolitana, Gobierno del Distrito Federal. México, D.F.

Lock, M., J. Costerton, R. Ventullo, R. Wallace & S. Charlton. 1984. River epilithon: toward a structuralfunctional model. *Oikos*, 42, 10-22.

López, E. R. J. 1987. Revisión taxonómica del género *Propoptila* Banks para México (Trichoptera: Glossosomatidae). Tesis profesional, Facultad de Ciencias, U.N.A.M.

Mackay, R. J. & J. Kalf. 1969. Seasonal Variation in Standing Crop and Species Diversity of Insect Communities in a small Quebec Stream. *Ecology*, Vol. 50, No. 1 pp. 101-109.

Melic, A. 1993. Biodiversidad y riqueza biológica- Paradojas y problemas. *Revista Aragonesa de Entomología*, No. 3.

Merritt, R. W., K. W. Cummins & M. B. Berg.2008. An introduction to the aquatic insects of North America.4th edition. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, USA, 1158 p.

Morse, J. C. & R. W. Holzenthal. 2008. Trichoptera genera. In: Merritt, R. W., Cummins, K. W., & Berg, M.B. (eds). An introduction to the aquatic insects of North America.4th edition. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, USA. 1158 p.

Munn, M. D., & M. A. Brusven.1991. Benthic invertebrate communities in nonregulated and regulated waters of the Clearwater River, Idaho, USA. *Regulated Rivers: Research and Management* 6:1–11.

Novelo-G., R. & P. Alonso-Eguía. (Eds.), 2007. Simposio Internacional Entomología Acuática Mexicana: Estado Actual de Conocimiento y Aplicación, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Sociedad Mexicana de Entomología, Jiutepec, Morelos.

Nieto de Pascual P., C. 2009. Coníferas.En, Ceballos, G., R. List, G. Garduño, R. López, M. Muñozcano, E. Collado &J. San Román. La diversidad biológica del Estado de México, Estudio de Estado. Gobierno del Estado de México.

Pardo, I., & P. D. Armitage. 1997. Species assemblages as descriptors of mesohabitats. *Hydrobiologia*, 344, 111-128.

Pisanty, I., M. Mazari & E. Ezcurra. 2009. El reto de la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas y periurbanas, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México.

Pond, G. J. 2011. Biodiversity loss in Appalachian headwater streams (Kentucky, USA): Plecoptera and Trichoptera communities. *Hydrobiologia*, Volume 679, Issue 1, pp 97–117.

R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Ramírez, A. & P. Gutiérrez-Fonseca. 2014. Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: a critical analysis and review of existing literature. *Revista de Biología Tropical*, 62 (Suppl. 2): 155-167.

Rojas-Ascencio, A. 1995. Estudio taxonómico de los insectos del orden Trichoptera del arroyo Colorado en Real de Arriba, municipio de Temascaltepec, Estado de México, México. Tesis profesional, U.N.A.M.

Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*.1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.

STATISTICA, v. 12, StatSoft, Inc, Tulsa, OK, USA; 2012. Available from: <http://www.statsoft.com>.

Steel, G. D. R. & H. J. Torrie. (1985). Bioestadística: principios y procedimientos. Segunda edición. Ed. McGraw-Hill, Bogota-Colombia.

Thorp, J. H. & A. P. Covich. 2009. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates, 3rd. Edition. Academic Press. USA.

Townsend, C. R. 1989. The patch dynamics concept of stream community ecology. Journal of the North American Benthological Society, Vol. 8, No. 1, pp. 36-50.

Tufinio, A. S. 1986. Revisión taxonómica del género *Atopsyche* para México (Trichoptera: Rhyacophilidae). Tesis profesional, Facultad de Ciencias. U.N.A.M.

Urbanič, G., M. J. Toman & C. Krušnik. 2005. Microhabitat type selection on caddisfly larvae (Insecta: Trichoptera) in a shallow lowland stream. Hydrobiologia 541:1-12.

Vásquez-Ramos, J. M., G. Guevara-Cardona & G. Reinoso-Flores. 2014. Factores ambientales asociados con la preferencia de hábitat de larvas de tricópteros en cuencas con bosque seco tropical (Tolima, Colombia). Revista de Biología Tropical, Vol. 62 (Suppl. 2): 21-40.

Voshell, R. J. 2002. A Guide to common Freshwater Invertebrates of North America. McDonald & Woodward Pub. USA.

Ward, J. V. 1992. Aquatic Insect Ecology. U. S. A.: John Wiley y Sons.

Wiens, J. A. 2002. Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water. Freshwater Biology. 47: 501–515.

Wiggins, G. B. & D. C. Currie. 2008. Trichoptera Families. In: Merritt, R. W., Cummins, K. W., & Berg, M.B. (eds.). An introduction to the aquatic insects of North America. 4th edition. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, USA. 158 p.

Wiggins, G. B. & R, J. Mackay. 1978. Some relationships between systematic and trophic ecology in Nearctic aquatic insects, with special reference to Trichoptera. Ecology 59:1211-1220.

Wiggins, G. B. 1996. Larvae of the North American caddisfly genera (Trichoptera). 2nd. Edition. University of Toronto Press.

Zamora-Muñoz, C., M. Sáinz-Bariáin & N. Bonada. 2015. Clase Insecta, Orden Trichoptera. Revista IDEA-SEA, No. 64. Ibero diversidad Entomológica.