

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Iztapalapa



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO

**METZTITLÁN (HIDALGO, MÉXICO) CON BASE EN
LA ENTOMOFAUNA ACUÁTICA Y CONDICIONES**

LIMNOLÓGICAS.

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN BIOLOGÍA

Presenta

JUÁREZ FLORES JUAN

México, D. F., Agosto de 2007

Iztapalapa

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

137APALAPA



Casa abierta al tiempo

Caracterización de la cuenca del río Metztitlán (Hidalgo, México) con base en la entomofauna acuática y condiciones limnológicas.

TESIS

Alumno.

J u a n J u á r e z F l o r e s

Comité Tutelar.

Codirectores

M. en C. José Luis García Calderón.

Dr. Atilano Contreras Ramos.

Asesor

Dr. Francisco José Gutiérrez Mendieta.

**LA “MAESTRÍA EN BIOLOGÍA” DE LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA - IZTAPALAPA
PERTENECE AL PADRON DE POSGRADOS
DE EXCELENCIA DEL CONACyT.**

**SE CONTÓ CON APOYO DE UNA BECA PROPORCIONADA POR EL
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, CONACYT.**

N° de registró: 188135

La sangre de la vida.

*Cristales de vida, corrientes de sangre,
cual torrentes caudalosos,
bajando vienen del cielo,
alimentan la tierra, con esa un anhelo,
anhelo de vida venida del cielo.*

*Al infierno adyacente,
cristales de vida, llegan como el viento,
bañando de sangre todo el firmamento,
de verde se cubres en todo momento,
cual torrente de sangre alimentas la vida,
con un verde frondoso la tierra vas cubriendo.*

*Gotas de sangre cual agua pujante
me diste la vida y en todo momento
de ti sigo aprendiendo.*

J. J. F.

DEDICATORIA

A mis padres *Francisco Juárez B.* y *Elena Flores H.* Por enseñarme que todo es posible, cuando hay voluntad, disposición y ganas de seguir siempre hacia adelante.

Que no existen metas inalcanzables, siempre que uno lo desee de todo corazón; gracias por todos los consejos y el apoyo que me han proporcionado, los cuales me han permitido concluir una etapa más de mi vida. Para mí son los mejores padres que puedan existir. Por ello aunque saben que no soy muy expresivo les quiero decir lo mucho que los quiero, amo y respeto.

A mis hermanos que de una u otra forma siempre he contado con su apoyo durante mi vida académica y familiar.

A mis amistades que en los momentos difíciles me dieron ánimo para no declinar en el logro de las metas propuestas.

A ti que sabes lo mucho que te estimo y lo importante que fuiste eres y representas para mí en la vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, la cual otorgó el apoyo financiero para el proyecto divisional “Alternativas de manejo pesquero con base en el potencial productivo de la cadena heterotrófica en el lago de Metztitlán, Hidalgo. Proyecto del cual se destino parte del presupuesto para la realización del presente estudio.

De una manera muy especial al M. en C. José Luis García Calderón, por su tiempo, dedicación y apoyo económico para la realización del presente estudio. Así como por sus acertados comentarios en la revisión y discusión de la tesis.

También se agradece:

Al Dr. Atilano Contreras Ramos, por su apoyo y dedicación en la identificación de la entomofauna acuática y sus acertados comentarios sobre el escrito de la tesis.

Al Dr. Francisco J. Gutiérrez Mendieta, por su tiempo y dedicación en la revisión de la tesis, así como sus acertados comentarios para realizar de forma más explícita la comunicación de los resultados.

Al M. en C. Enrique González Soriano, por la minuciosa revisión y acertados comentarios de la tesis, de igual forma agradezco su atención y dedicación proporcionadas durante el tiempo de la revisión.

Al Dr. Everardo Barba Macías, por su tiempo, atención y dedicación en la revisión de la tesis, así como sus atinados comentarios destinados a realizar una comunicación idónea de los resultados.

Al Dr. Rodolfo Novelo por su colaboración en la revisión de los estadios inmaduros correspondientes al orden Odonata.

Al Dr. Numa P. Pavón Hernández, por su apoyo en el análisis estadístico multivariado de los datos biológicos y limnológicos, así como por sus comentarios en la discusión de los mismos.

A la Dra. Ana Laura Ibáñez Aguirre, por sus acertadas sugerencias, comentarios y apoyo en la validación y discusión de los análisis estadísticos.

Al M. en B. Francisco Varona Cordero, por su apoyo en el análisis exploratorio estadístico de los datos biológicos y limnológicos, así como sus acertados comentarios y apoyo en la discusión de los resultados obtenidos, en los análisis estadísticos.

**El jurado designado por la
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
de la unidad Iztapalapa
aprobó la tesis que presentó**

JUÁREZ FLORES JUAN

El día 31 de agosto del año de 2007

M. en C. José L. García Calderón Presidente _____

Dr. Francisco J. Gutiérrez Mendieta Secretario _____

Dr. Atilano Contreras Ramos Vocal _____

Dr. Everardo Barba Macías Vocal _____

M. en C. Enrique González Soriano Vocal _____

Contenido

DEDICATORIA VI

AGRADECIMIENTOS VII

JURADO IX

ÍNDICE DE FIGURAS XIII

ÍNDICE DE CUADROS XV

RESUMEN 1

ABSTRACT 2

INTRODUCCIÓN 3

ANTECEDENTES 7

 DEL ÁREA DE ESTUDIO 7

 DEL TEMA 7

JUSTIFICACIÓN 8

OBJETIVOS 10

 GENERAL 10

 PARTICULARES 10

ÁREA DE ESTUDIO 11

MÉTODOS 12

 RECOLECTA DE MUESTRAS DE AGUA 13

 RECOLECTA, SEPARACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ORGANISMOS 13

 ANÁLISIS DE DATOS 14

RESULTADOS 16

HIDROLOGÍA 16

 COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LAS VARIABLES FÍSICAS 16

COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LAS VARIABLES QUÍMICAS.....	20
COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS VARIABLES FÍSICAS.....	27
Época de secas (abril)	27
Época de lluvias (noviembre)	28
COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS VARIABLES QUÍMICAS.....	30
Época de secas (abril)	30
Época de lluvias (noviembre)	30
COMPOSICIÓN DE LA ENTOMOFAUNA ACUÁTICA	38
ABUNDANCIA Y RIQUEZA DE GÉNEROS.....	38
VARIACIÓN ESPACIAL DE LA RIQUEZA TAXONÓMICA.....	44
Época de Secas (abril)	44
Época de Lluvias (noviembre)	45
VARIACIÓN TEMPORAL DE LA RIQUEZA DE TAXA.....	46
CATEGORÍAS TRÓFICAS.....	48
Categorías tróficas en secas (abril)	52
Categorías tróficas en lluvias (noviembre)	55
ANÁLISIS MULTIVARIADOS	58
ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP).....	58
ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA (ACC).....	70
BIOINDICADORES	74
DISCUSIÓN	75
HIDROLOGÍA.....	76
RIQUEZA Y ABUNDANCIA TAXONÓMICA.....	77
CATEGORÍAS TRÓFICAS.....	80
ANÁLISIS MULTIVARIADO.....	83
BIOINDICADORES.....	84
CONCLUSIONES	85

LITERATURA CITADA	86
ANEXO I. DATOS DE LAS VARIABLES LIMNOLÓGICAS Y ABUNDANCIA DE LA ENTOMOFAUNA ACUÁTICA EN LA CUENCA DEL RÍO METZTILÁN	101
ANEXO 2. REPORTES DEL ANOVA, DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN ÉPOCA DE SECAS Y LLUVIAS	106
ANEXO 3. ASPECTOS BIOLÓGICOS Y ECOLÓGICOS DE LA ENTOMOFAUNA ACUÁTICA REGISTRADA EN EL RÍO METZTILÁN	109
ORDEN COLLEMBOLA.....	109
ORDEN EPHEMEROPTERA.....	111
ORDEN ODONATA.....	119
ORDEN HEMIPTERA.....	124
ORDEN MEGALOPTERA.....	129
ORDEN NEUROPTERA.....	131
ORDEN TRICHOPTERA.....	133
ORDEN LEPIDOPTERA.....	141
ORDEN COLEOPTERA.....	144
ORDEN DIPTERA.....	154

Índice de figuras

Figura 1. Área de estudio y ubicación de las estaciones de recolecta.	11
Figura 2. Ubicación longitudinal y altitudinal de las estaciones de recolecta.	12
Figura 3. Variación temporal de la velocidad de la corriente a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).	16
Figura 4. Variación temporal de la temperatura a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).	17
Figura 5. Variación temporal de la amplitud del cauce a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).	18
Figura 6. Variación temporal de la profundidad (Z) a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).	19
Figura 7. Variación temporal del oxígeno disuelto (O_2) a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).	20
Figura 8. Variación espacial y temporal del amonio (NH_4^+) a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).	21
Figura 9. Variación temporal de los nitritos (NO_2^-) a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).	22
Figura 10. Variación temporal de los nitratos (NO_3^-) a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).	23
Figura 11. Variación temporal de los ortofosfatos (PO_4^{3-}) a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).	24
Figura 12. Clasificación de las zonas de la cuenca con respecto a las variables limnológicas	27
Figura 13. Diagramas de caja y bigotes de la variación temporal en la época de secas y.....	

lluvias de las variables físicas.....	34
Figura 14. Diagramas de caja y bigotes de la variación temporal en la época de secas y lluvias de las variables químicas:	37
Figura 15. Abundancia relativa total anual correspondiente a los diversos órdenes de la entomofauna acuática.	42
Figura 16. Abundancia total anual de la entomofauna acuática y géneros dominantes.	42
Figura 17. Diagrama de Olmstead y Tukey de la entomofauna acuática del río Metztitlán.	43
Figura 18. Variación espacial y temporal de la riqueza taxonómica (géneros).....	47
Figura 19. Categorías tróficas en la cuenca de Metztitlán con base en la abundancia de organismos correspondientes a cada grupo trófico.....	49
Figura 20. Categorías tróficas en la cuenca de Metztitlán con base en la riqueza taxonómica (géneros) correspondiente a cada grupo trófico.....	51
Figura 21. Categorías tróficas en la época de secas con base en la abundancia de organismos correspondientes a cada grupo trófico.....	53
Figura 22. Categorías tróficas en la época de secas con base en la riqueza taxonómica (géneros).	54
Figura 23. Categorías tróficas en la época de lluvias con base en la abundancia de organismos correspondientes a cada grupo trófico.....	56
Figura 24. Categorías tróficas en la época de lluvias con base en la riqueza taxonómica (géneros).	57
Figura 25. ACP de los sitios de recolecta de acuerdo con las variables ambientales.....	59
Figura 26. Clasificación de las estaciones correspondientes a los muestreos con respecto a las variables limnológicas.....	62

Figura 27. Clasificación de las estaciones con base en las variables limnológicas..... 64

Figura 28. ACP de los sitios de recolecta de acuerdo con la presencia-ausencia de organismos..... 65

Figura 29. Ordenación de las estaciones con base en la presencia y ausencia de organismos mediante un análisis discriminante..... 68

Figura 30. Clasificación de las zonas de la cuenca con base en la abundancia de organismos mediante un análisis discriminante. 69

Figura 31. Ordenamiento empleando ACC de los sitios de recolecta..... 72

Figura 32. Ordenamiento de los grupos taxonómicos empleando ACC 73

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Clasificación de las zonas de la cuenca mediante el análisis discriminante..... 26

Cuadro 2. Variación espacial y temporal de los parámetros físicos en época de lluvias y secas..... 29

Cuadro 3. Variación espacial y temporal de los parámetros químicos en la época de secas y lluvias. 31

Cuadro 4. ANOVA de los parámetros físicos entre las épocas de secas y lluvias..... 33

Cuadro 5. ANOVA de los parámetros químicos entre las épocas de secas y lluvias..... 36

Cuadro 6. Composición taxonómica de la entomofauna acuática en el río Metztitlán. 40

Cuadro 7. Matriz factorial de las variables para los dos primeros componentes. 58

Cuadro 8. Clasificación de las estaciones correspondientes a los cinco muestreos mediante análisis discriminante. 61

Cuadro 9. Clasificación de las estaciones con base en las variables limnológicas mediante análisis discriminante.	63
Cuadro 10. Clasificación de las estaciones con base en la presencia y ausencia de organismos mediante análisis discriminante.	66
Cuadro 11. Clasificación de la cuenca con base en la abundancia de organismos mediante análisis discriminante.	70
Cuadro 12. Eigenvalores y proporción de la variación explicada de los dos primeros componentes.	71
Cuadro 13. Coeficientes canónicos de los dos primeros componentes.	71
Cuadro 14. Grado de tolerancia a la contaminación orgánica de algunos organismos en la cuenca de l río Metztitlán de acuerdo con Hellawell, (1986).	74
Cuadro 15. Concentración espacial y temporal de las variables físicas durante el ciclo de muestreo.	101
Cuadro 16. Concentración espacial y temporal de las variables químicas durante el ciclo de muestreo.	102
Cuadro 17. Abundancia de la entomofauna acuática durante el ciclo de muestreo, enero de 2005 a enero 2006	103

Resumen

La cuenca del río Metztitlán, Hidalgo, México se caracterizó con base en la entomofauna acuática y parámetros limnológicos, con muestreos trimestrales durante un ciclo anual, a lo largo de 75 Km del cauce del río. El Análisis de componentes principales ordenó los sitios de muestreo y separó las estaciones correspondientes en las de zonas alta, media y baja. Las principales variables que influyeron fueron la velocidad de la corriente, la temperatura y el cauce (espejo de agua). El fondo del río en la zona alta se caracterizó por grandes rocas basálticas y ausencia de sedimento. La zona media presentó rocas, gravas y arenas de diverso tamaño, mientras que en la zona baja se presentaron limos y arcillas. En cuanto al aspecto físico-químico la zona media registró las menores concentraciones de nutrientes, Mientras que el oxígeno y la temperatura presentaron un comportamiento inverso. La riqueza taxonómica (géneros) de insectos acuáticos fue mayor en la zona media tanto en secas como en lluvias, mientras que en la zonas alta y baja varió de acuerdo con la época. Los órdenes con mayor riqueza de géneros fueron: Coleoptera (13), Trichoptera (11), Ephemeroptera (10), Diptera (8, sin Chironomidae) y Odonata (6), mientras que Hemiptera, Lepidoptera Collembola, Megaloptera y Neuroptera, estuvieron representados por 5 o menos géneros, respectivamente. Los géneros dominantes fueron, *Simulium*, *Baetis*, *Heterelmis*, *Leptohyphes*, *Paraleptophlebia* y *Camelobaetidius*. No obstante existir dominancia de algunos géneros, la cuenca presentó riqueza taxonómica alta. En cuanto a las categorías tróficas dominaron organismos raspadores, colectores y desmenuzadores en la cabecera del río, mientras que en la zona media dominaron colectores y raspadores; por el contrario, en la zona baja dominaron los colectores. Así mismo los depredadores se presentaron a lo largo de la cuenca con bajas proporciones.

Palabras clave: Insectos acuáticos, Metztitlán, Hidalgo, ambientes lóticos, limnología.

Abstract

The Metztitlán river basin, in Hidalgo, Mexico, was characterized on the basis of its aquatic insect fauna and limnological parameters. Sampling was done quarterly along a year cycle and 75 Km of river length. Principal Component Analysis ordered sampling sites and separated corresponding stations into high, median, and low zones. The main variables causing this pattern were current velocity, water temperature, and stream width. Stream bottom on the high zone was characterized by large basalt rocks without sediment. The median zone presented rocks, gravel, and sands of diverse particle size, whereas clay and mud were present in the low zone. Regarding physico-chemical parameters, the lowest concentrations of nutrients were recorded in the median zone, while oxygen and temperature behaved inversely. Taxonomic richness (genera) of aquatic insects was highest in the median zone both during dry and rainy season, while it was variable in the high and low zones according to season. Orders with highest genus richness were Coleoptera (13), Trichoptera (11), Ephemeroptera (10), Diptera (8, excluding Chironomidae), and Odonata (6), while Hemiptera, Lepidoptera, Collembola, Megaloptera, and Neuroptera were represented each by 5 or less genera. Dominant genera were *Simulium*, *Baetis*, *Heterelmis*, *Leptohyphes*, *Paraleptophlebia*, and *Camelobaetidius*. Regardless of dominance by several genera, the basin presented a high taxonomic richness. About trophic categories, scrapers, collectors, and shredders dominated at headwaters, while the median zone was dominated by collectors and scrapers, and the low zone was dominated by collectors. Predators were present throughout the river basin in low proportion.

Key words: Aquatic insects, Hidalgo, Metztitlán, lotic habitats, limnology, river ecology.

Introducción

La caracterización de los ríos se ha realizado de acuerdo con, la red de drenaje, las condiciones físicas y químicas, calidad del agua (Pérez-Munguía *et al.*, 2006; González-Cortés *et al.*, 2006); asimismo se han caracterizado entre otras, tanto por las condiciones limnológicas como por las de un enfoque en porciones de la biota (Illies y Botosaneanu, 1963; Vannote *et al.*, 1980). Según las ramificaciones y la intensidad del flujo de agua de la red de drenaje, hacia los parteaguas, se tienen: corrientes de primer orden (no tienen afluentes); los de segundo orden (unión de dos de 1^{er} orden); los de tercer orden (unión de dos de 2do orden) y así sucesivamente (Horton, 1945), modificado por Strahler (1957). También se han realizado caracterizaciones en las cuales se considera tanto a la biota como a las condiciones limnológicas; Illies y Botosaneanu (1963) dividen el sistema, de acuerdo con diversas condiciones limnológicas y la presencia de peces, para lo cual establecen una distinción entre la parte alta (crenon), pendiente y torrencial (ritron) con temperaturas inferiores a 20 °C y la baja plana de corriente lenta (potamon). Vannote y colaboradores (1980), caracterizan las cuencas con base en la materia orgánica particulada y el tamaño del cauce del río junto con la estructura de los grupos tróficos presentes desde la cabecera del río hasta su desembocadura. Mientras que Pérez-Munguía y colaboradores (2004), la caracterizan con base en los grupos tróficos presentes a lo largo de la cuenca bajo el criterio del Concepto del Río Continuo.

En México la proximidad de las cordilleras a las costas hace que las vertientes litorales presenten fuertes pendientes excepto en el noreste. Esto es debido a las características que presenta el relieve mexicano, el cual determina que los ríos en general, con notables excepciones, sean de corta longitud, cuenca reducida, fuerte pendiente y un

perfil pronunciado (Tamayo, 1962). Cuencas en las que se pueden identificar topográficamente tres porciones: curso alto (torrentes y arroyos), medio (zonas con procesos de erosión lateral y de profundidad) y bajo (área lacustre, con pendiente reducida y canales anchos). Las cuencas asociadas con el Altiplano Mexicano se originan en porciones con cauces que captan el agua de las montañas, pero mantienen poca pendiente, al que sucede en su descenso hacia la costa un flujo con pendientes pronunciadas a menudo atenuadas con cañones excavados en la roca; hacia la planicie costera éstas disminuyen y se transforman en deltas y bocas a menudo asociadas con lagunas costeras (Tamayo, 1962).

Debido a que el relieve mexicano es tan variado y complicado (Tamayo, 1962), aunado a las grandes diferencias de altitud, los climas son muy variados en México, dando como resultado una gran variedad interanual de las precipitaciones, con una enorme diferencia entre la cantidad de lluvia de un año a otro y en distancias relativamente cortas (Llorente *et al.*, 1996). La anterior es una característica típica de regiones tropicales y subtropicales, en las cuales dominan fenómenos meteorológicos capaces de afectar las regiones de la Altiplanicie Mexicana y otras regiones del interior produciendo condiciones lluviosas y frías. La Cuenca del Río Metztlán participa de características anteriormente mencionadas, una zona alta, una zona media y una zona baja. No obstante su condición endorreica, la planicie está representada por una vega de 5,000 ha., al final de la cual se encuentra un lago de volumen fluctuante (Ibáñez *et al.*, 2001). La cuenca también está sujeta a una variación interanual de lluvia, la cual afecta directa e indirectamente la abundancia y distribución de los macroinvertebrados dulceacuícolas (Arauz *et al.*, 2000; Rincón, 2003). De igual forma éstos organismos son alterados en su abundancia y

distribución por los cambios en las variables físicas y químicas del agua (Ramírez y Roldan, 1989), así como la precipitación y el manejo y aprovechamiento de los ríos debido a la ralentización (disminución del flujo de agua por medio de presas) (Rincón, 2003; Hurtado *et al.*, 2005). Por tal motivo es necesario conservar los ambientes dulceacuícolas dada su importancia ecológica, puesto que los cambios en la similitud de la composición es un indicador que conllevan riesgo en el ámbito de la comunidad como a nivel de ecosistema (flujo de energía), asimismo para estudiarlos y estimar el daño causado por la acción del hombre (Norris y Hawkins, 2000).

En la actualidad los ríos se han convertido en lugares de desechos lo que ocasiona un aumento en su contaminación y la alteración química del agua y el sedimento, lo cual ha sido una característica notable desde finales del siglo XX (CEPAL, 1990). Por otra parte en los sistemas dulceacuícolas los sedimentos han sido poco estudiados (Wall, 1999), por lo cual es difícil evaluar los efectos de la contaminación en ellos. Se sabe que las comunidades que componen la fauna de macroinvertebrados de los ríos y embalses, juegan un papel importante, en diversos procesos ecológicos tanto en ríos como en lagos (McCall y Soster, 1990; Downing, 1991), además, los cambios en la riqueza y composición de la comunidad han sido base de información para detectar alteraciones en ecosistemas acuáticos (Mance, 1987; Dickman *et al.*, 1990, William y Feltmate, 1992), bajo la condición de que, cuanto mayor es el número de taxa, mejor es la calidad del agua y/o la calidad del hábitat (Zuccaro y Bulla, 1985). Por lo tanto, para entender el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y su respuesta a los factores físico-químicos del medio, es necesario conocer la composición y estructura de la comunidad de los seres vivos que los forman (Warren, 1971), dentro de las cuales las más empleadas son las comunidades de

macroinvertebrados, debido a su alta representatividad cercana al 75 % de la diversidad de organismos presentes en estos ambientes (Toro *et al.*, 2003). Sin embargo, dentro de los macroinvertebrados los insectos son los más empleados en el biomonitoreo, debido a que son los más abundantes y diversos en los sistemas dulceacuícolas ya que presentan mecanismos de adaptación a las aguas corrientes (Angelier, 2002), ciclos de vida cortos, elevada sensibilidad a las perturbaciones ocurridas en el agua o el sedimento y son relativamente sedentarios. No obstante, que la mayoría de ellos pasan solamente una parte de su ciclo de vida en el agua (Hutchinson, 1993).

Los cambios en la composición y diversidad de la fauna, ocasionada por la alteración de las variables físico-químicas del agua, traen con frecuencia la desaparición de especies y el aumento de algunas poblaciones indeseables que han tenido la capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones (Roldan, 1992), capaces de transmitir por medio de insectos enfermedades al ser humano (Colvard, 1978; Merrit y Cummins, 1996). En contraste, en los ríos limpios y bien oxigenados se encuentran: efemerópteros, tricópteros, en menor proporción, odonatos, hemípteros, algunos dípteros (*Chironomus tentans*, *Simulium venustum*, *Tanytarsus dissimilis*, etc.) y neurópteros; en sistemas perturbados y poco oxigenados albergan menor diversidad, con dominancia de dípteros (*Chironomus plumosus*, *Procladius denticulatus*, *Tanytus stellatus*, etc.) y coleópteros (McClelland y Brusven, 1980; Margalef, 1986; Miller, 1988; Jara, 2002). Sin embargo para la evaluación de la salud de un río no es suficiente conocer los parámetros limnológicos, como tampoco lo sería conocer solamente su biota, sino también la interacción entre la biota y el medio abiótico (Nieves, 1989).

Antecedentes

Del área de estudio

La cuenca de Metztitlán ha sido objeto de diversos estudios, los que abarcan desde el medio físico, (Cantu-Treviño, 1953; Rovirosa, 1974; SEMARNAP 1999; Ahumada, 2002; Armella-Villalpando *et al.*, 2003), hasta el social, aunque destacan los que se enfocan hacia los inventarios de especies, que evidencian la gran riqueza ambiental de la cuenca , tanto vegetal (Jiménez-Sierra y Reyes 2003; Sánchez-Mejorada, 1978; Mendoza, 2004; Jiménez-Sierra y Matías-Palafox, 2004), como animal (Escorcia-Ignacio *et al.*, 2006; Cornejo-Latorre *et al.*, 2006), además de trabajos enfocados a la agricultura (López-Herrera, 2006; Negrete-Fernández *et al.*, 2006; Ordoñez-Xahuentitla, 2006) y a la pesquería (Fernández-Bringas, 2004; Lozada-Zarate, 2006) , aunque los estudios del lago son los mas escasos (Carter-Romero, 1981; Juárez-Flores e Ibáñez-Aguirre 2003).

Del tema

Houghton (2004), en un estudio que realizó con tricópteros y neurópteros de varias regiones de Norteamérica, determinó que la composición de especies de tricópteros y neurópteros puede contribuir a caracterizar los ríos por su relación con gradientes de temperatura, del río y el porcentaje de alteración presente en el ambiente. Marqués y colaboradores (2001), emplearon macroinvertebrados acuáticos para caracterizar la cuenca a través de la calidad del agua afectada por residuos provenientes de una mina. Incluso Martel *et al.*, (2007); Allan (2004), han empleado a los macroinvertebrados para evaluar el impacto de las actividades forestales y el uso de la tierra, sobre el ambiente acuático; de igual forma los macroinvertebrados y los insectos acuáticos se han utilizado para evaluar las condiciones de contaminación en ríos (Hurtado *et al.*, 2005; Medianero y Samaniego,

2004; Storey y Williams, 2004). En México, los estudios realizados en ríos, aunque contribuyen a caracterizar las cuencas, se han enfocado más hacia los estudios para evaluar la contaminación acuática. Bueno-Soria y colaboradores (1981), realizaron un estudio en la cuenca del río Lerma en el cual relacionaron la fauna de macroinvertebrados con parámetros físicos y químicos, observando que la diversidad disminuye en las estaciones con mayor grado de contaminación. Weigel y colaboradores (2002), aplicaron un índice de integridad biótica en ríos de la región centroeste de México, para evaluar el impacto de diversas actividades humanas sobre la biota y la columna del agua. Henne y colaboradores (2002) emplearon el índice propuesto por Hilsenhoff (1988), para evaluar el grado de contaminación orgánica en un río situado en la región centroeste de México. Gómez-Anaya *et al.*, (2004), en un estudio realizado en ríos cercanos a Zimapán, entre los límites de Hidalgo y Querétaro, concluyeron que la baja presencia de ensamblajes entre los insectos (Coleoptera), puede ser debida a la competencia crítica por los recursos y condiciones de contaminación presentes en el área.

Justificación

Las cuencas asociadas con el Altiplano Mexicano se originan en áreas con cauces que captan el agua de las montañas con poca pendiente, al que sucede en su descenso un flujo con pendientes pronunciadas a menudo con cañones, mientras que en la planicie costera éstas disminuyen y presentan deltas y bocas a menudo asociadas con lagunas costeras (Tamayo, 1962). La cuenca de Metztitlán incluye, por su importancia ambiental una Reserva de la Biósfera, dos distritos de riego, una zona urbano industrial con 130,000 habitantes, en un gradiente altitudinal de los 3200 a los 1200 msnm, con diversos climas

que varían del seco-semicálido a templado húmedo, atributos que comparte con muchas cuencas que se despliegan desde el Altiplano, de ahí la importancia de su caracterización.

Las principales actividades económicas de la región dependen del río Metztitlán, sin embargo se han realizado pocos estudios del mismo, en los cuales no se toma en cuenta la comunidad acuática, no obstante que para entender el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y su respuesta a los factores físico-químicos del medio, es necesario conocer la composición y estructura de la comunidad que lo forman (Warren, 1971).

Por tal motivo se planteó el presente estudio que tiene como objetivo caracterizar la cuenca del río Metztitlán con base en las condiciones limnológicas y la de su entomofauna acuática, además de estimar que géneros de insectos acuáticos pueden tener potencial como bioindicadores. Puesto que los organismos de la entomofauna acuática cuentan con una representatividad de 70 a 90 % en los ambientes lóticos aunado a su rápida respuesta a las descargas antropogénicas. La caracterización de la cuenca puede apoyar en un futuro el planteamiento de alternativas de conservación y su manejo con base tanto en la riqueza de insectos acuáticos como en las condiciones limnológicas (temperatura, velocidad de la corriente, nutrientes y oxígeno). Además es relevante ya que el río Metztitlán representa el principal afluente al lago y es el principal recurso hídrico utilizado para el riego de las zonas agrícolas en la Vega de Metztitlán, así como del distrito de riego de la parte alta correspondiente a Tulancingo, por lo que es necesario conocer las características del cauce del río desde el punto de vista biótico y limnológico. Otro punto importante es contribuir al conocimiento sobre la riqueza taxonómica de los sistemas lóticos de México con el registro de la entomofauna acuática y su posible empleo como bioindicadores del sistema.

Objetivos

General

- ◆ Caracterizar la Cuenca del Río Metztitlán con base en la entomofauna acuática y condiciones limnológicas.

Particulares

- ◆ Caracterizar la columna de agua a lo largo de la cuenca por medio de las características físicas como: el cauce, la corriente la profundidad y químicas: como el oxígeno disuelto, los nitratos, los nitritos, el amonio y los ortofosfatos.
- ◆ Registrar los géneros de insectos acuáticos presentes a lo largo del cauce de la cuenca del río Metztitlán.
- ◆ Determinar las principales categorías tróficas de los insectos presentes a lo largo de la cuenca, y caracterizar la cuenca con base en su distribución.
- ◆ Determinar la posible correspondencia entre la composición de insectos y los parámetros limnológicos a lo largo de la cuenca.
- ◆ Identificar a los géneros insectos o grupos taxonómicos de insectos probables de ser empleados como bioindicadores.

Área de estudio

El estado de Hidalgo se localiza en la parte centro de la República Mexicana, al norte de la Ciudad de México, está enclavado en tres provincias fisiográficas: el Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Oriental y la llanura costera del Golfo de México, cuenta con una superficie de 20,813 km² cuadrados y representa 1.1 % de la superficie del país. El área de estudio se localiza en la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, ubicada en el estado de Hidalgo, México (Fig.1).

Entre la estación de la cuenca alta (San Salvador ubicada en las coordenadas 20° 15' 13" N, 98° 22' 18" W con una elevación de 2100 msnm) y la más cercana al Lago de Metztitlán (San Cristóbal, en las coordenadas 20° 38' 26.7" N y a 98° 49' 35.8" W, a 1,257 msnm), existe una variación altitudinal de 843 m (Fig. 2). El clima predominante en el área es semiseco templado con una temperatura media anual de 20.2 °C y una precipitación media anual de 437.1 mm, en la cual los meses de mayor precipitación son, junio, julio y septiembre.

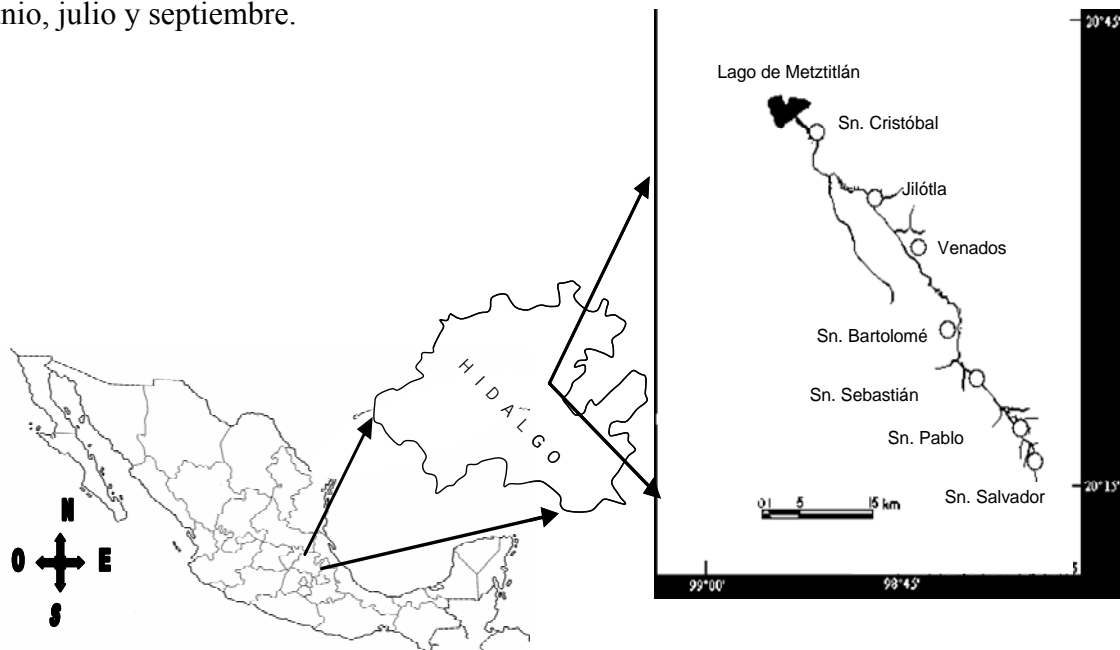


Figura 1. Área de estudio y ubicación de las estaciones de recolecta.

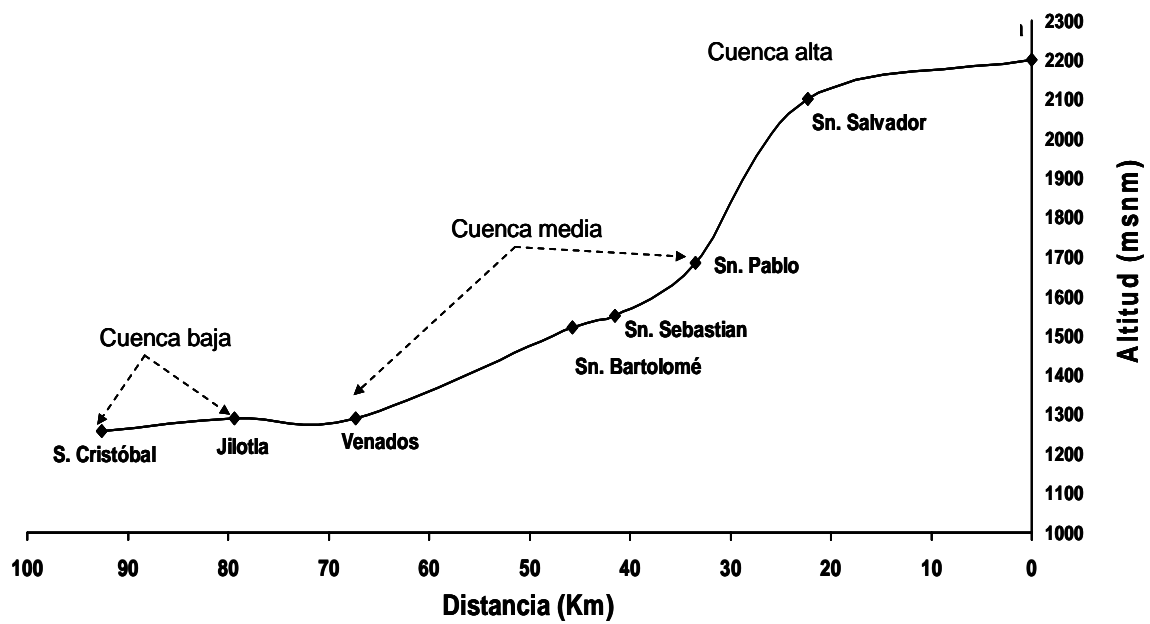


Figura 2. Ubicación longitudinal y altitudinal de las estaciones de recolecta.

Métodos

El trabajo de campo se realizó durante un ciclo anual con una periodicidad trimestral, de enero de 2005 a enero de 2006 en siete estaciones, en las cuales se tomó la lectura de diversos parámetros limnológicos. Al mismo tiempo se realizó la recolección de insectos acuáticos en cada sitio, las estaciones abarcaron una distancia de 75 km, a lo largo del cauce del río Metztitlán en el área correspondiente a la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán (Figs. 1, 2). En cuanto a los parámetros físico-químicos, la temperatura de la columna de agua se midió con un termómetro digital Cole Parmer Modelo 90350-20[®] con una precisión de ± 0.1 °C. La velocidad de la corriente se midió con un flujómetro de la marca General Oceanics[®], en el centro del cauce, se realizaron tres lecturas por localidad. La amplitud del cauce se midió con cinta métrica, tomando en cuenta la superficie cubierta por el agua. La profundidad de la columna de agua fue medida en la parte central del cauce mediante un estadal.

Recolecta de muestras de agua

La recolecta de agua se realizó con apoyo de una botella Van Dorn de 2.5 L, de la cual se tomó un volumen de 300 ml en botella DBO, en la que se determinó la concentración de oxígeno disuelto mediante la técnica de Winkler (APHA, 1992); además se tomó una segunda muestra en una botella de plástico de un litro, de la cual se determinó posteriormente la concentración de nutrientes en el laboratorio, mediante el siguiente procedimiento: se filtraron las muestras a través de filtros de nitrocelulosa de 0.45 y 0.22 μm de apertura de poro, acoplados en serie para facilitar la filtración y maximizar la eliminación de materia particulada, bacterias y plancton. Una vez filtradas, se les adicionó una gota de cloroformo y se congelaron con hielo y sal en botellas de polietileno de 30 ml, para su inmediata determinación mediante un equipo de análisis continuo Skalar San Plus System[®], que cuenta con canales para la determinación simultánea de NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ y PO_4^{3-} .

Recolecta, separación e identificación de organismos

La recolecta de organismos se realizó mediante una red de bentos tipo cuchara con una área de 259 cm^2 y una luz de malla de 1mm, con la cual se tomaron tres réplicas por estación, mediante la colocación de la red en el fondo posteriormente se procedió a la remoción del sedimento en una área aproximada de un metro frente a la boca de la red. En la zona en donde el río es profundo la recolecta de los organismos se realizó en los sustratos (ramas de árboles, matorrales) que se encuentren parcial o totalmente sumergidos, arrastrando consecutivamente la red sobre el sustrato durante un minuto.

La muestra se depositó en una bolsa de plástico y se le adicionó alcohol al 70 % para fijar los organismos de acuerdo con lo señalado por Merrit y Cummins (1996). Posteriormente las muestras se colocaron en un recipiente con hielo para la mejor conservación de los organismos y transporte al laboratorio, en el cual se realizó la separación, conteo e identificación, mediante el uso de claves taxonómicas (George *et al.*, 1979; Merrit y Cummins, 1996; Glenn, 2000). Cabe mencionar que no se consideraron para este estudio a las larvas de quironómidos, adultos de vida aérea y el resto de los invertebrados (anélidos, crustáceos, arañas) que se recolectaron. Para establecer el comportamiento y la distribución de las categorías tróficas a lo largo de la cuenca, la riqueza de taxa fue agrupada considerando sus hábitos alimenticios, con base en la información obtenida de Merrit y Cummins, (1996), Westfall y May, (1996), Wiggins, (2000), los cuales agrupan a los organismos en raspadores (grazer), colectores (collectors y Filter), desmenuzadores (Shredder) y depredadores (predators).

Análisis de datos

Se realizó un análisis descriptivo de las variables físicas que se obtuvieron en los sitios de recolecta a lo largo del ciclo de muestreo (velocidad de la corriente, temperatura, profundidad y amplitud del cauce), además se utilizaron diversas pruebas de análisis multivariado para caracterizar a la cuenca, tanto en el sentido espacial como temporal, así como validarlo estadísticamente.. Para lo anterior, así como para establecer las relaciones entre los grupos de insectos y los parámetros limnológicos. Se realizaron exploraciones de los datos, para los Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) y los Análisis Componentes Principales (ACP), para lo cual se usó el programa PC-ORD 2.05 Statistical Program (McCune y Mefford, 1995).

La utilización del Análisis de Componentes Principales (ACP) fue con el propósito de conocer la distribución y formación de grupos de los sitios de muestreo tomando en cuenta por separado los parámetros ambientales y la presencia o ausencia de géneros. Se decidió utilizar la matriz de presencia o ausencia con la finalidad de eliminar el sesgo (ruido) causado por la abundancia de organismos de determinados géneros de acuerdo con McCune, (1997); también se realizó otro análisis para determinar las principales variables que afectan la distribución de los insectos y los sitios de muestreo. La aplicación del Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), fue con la finalidad de conocer la ordenación de los sitios de muestreo de acuerdo con la correlación existente con las variables ambientales y el componente biótico, así como para determinar cuales son las variables que tienen una mayor influencia de acuerdo con la significancia de los coeficientes propuesta por McGarigal y colaboradores (2000). En conjunto se utilizó la matriz de presencia o ausencia de géneros y la matriz de variables ambientales para determinar la correspondencia entre los organismos y las variables limnológicas. Estos análisis permiten ordenar los patrones de datos de la comunidad (Michael, 1993; McGarigal *et al.*, 2000,).

El criterio usado para determinar la significancia de los coeficientes resultantes de los análisis realizados, es el sugerido por McGarigal y colaboradores (2000), los cuales establecen que valores mayores de 0.32 o menores de -0.32 son pobres; mayores de 0.45 o menores de -0.45 son no muy malos; mayores de 0.55 o menores de -0.55 son buenos; mayores de 0.65 o menores de -0.65 son muy buenos y mayores de 0.75 o menores de -0.75 son excelentes. Por lo tanto se tomó en cuenta a los valores mayores de 0.55 y menores de -0.55, considerados buenos.

Resultados

HIDROLOGÍA

Comportamiento temporal de las variables físicas

De acuerdo con la variación temporal de la velocidad de la corriente (VC) a lo largo de la cuenca, durante el ciclo de muestreo (Fig. 3), se observó que los meses de enero y abril del 2005 presentaron los valores promedio menores de VC con 2.36 y 1.34 m/s, respectivamente. Abril presentó los valores mínimos a lo largo de la cuenca durante el ciclo, sin embargo enero de 2005 presentó menor variación de VC en toda la cuenca con desviación estándar (DE) ± 1.18 y un coeficiente de variación (CV %) de 50.10. Por el contrario, noviembre presentó el valor promedio más alto de VC de 6.70 m/s, y la mayor variación de la velocidad a lo largo del cauce con una DE ± 5.41 y un CV % = 80.77; julio y enero del 2006 presentan valores de VC similares, aunque la DE ± 4.40 indica una mayor variación de VC a lo largo del cauce en enero de 2006 que en julio del año anterior.

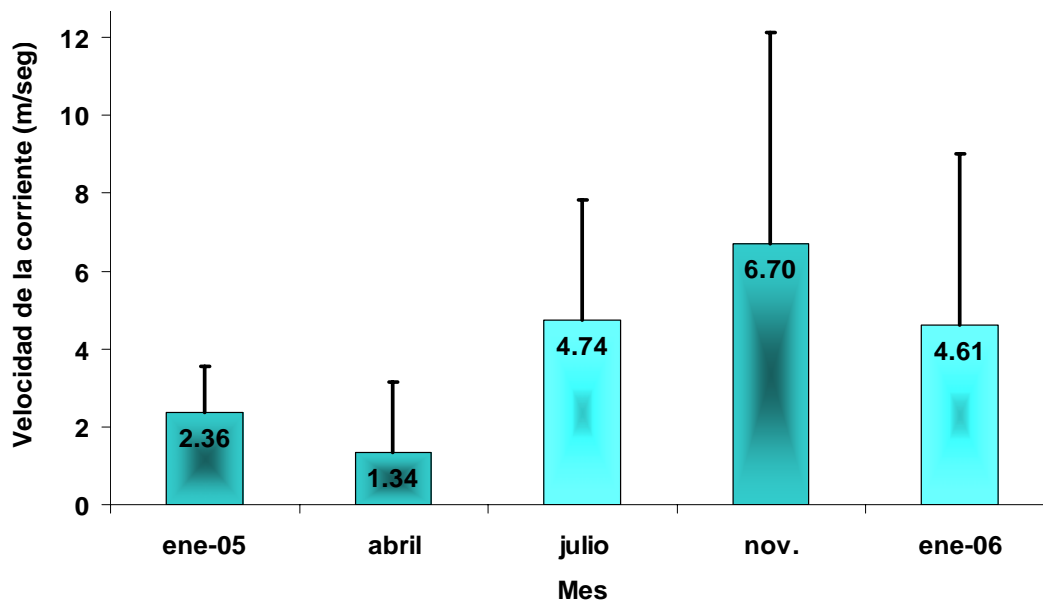


Figura 3. Variación temporal de la velocidad de la corriente a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).

La temperatura tuvo poca variación a lo largo del ciclo de muestreo (Fig. 4). No obstante, las mayores temperaturas se registraron en abril (mín. de 23.80° y máx. de 27.30 °C), y julio (mín. de 19.10° y máx. de 26.40 °C), mientras que las menores correspondieron a enero de 2006 (mín. de 13.70° y máx. de 21.30 °C) y noviembre de 2005 (mín. de 15.20° y máx. de 21.30 °C).

La variación de la temperatura a lo largo del cauce en cada muestreo fue similar en todos los meses, ya que presentaron una DE \pm 2.04 a 2.97, excepto en abril, mes con la menor DE (\pm 1.39), lo que indica que en abril el intervalo entre la temperatura mínima y máxima a lo largo del cauce es menor que en el resto de los meses (Fig. 4).

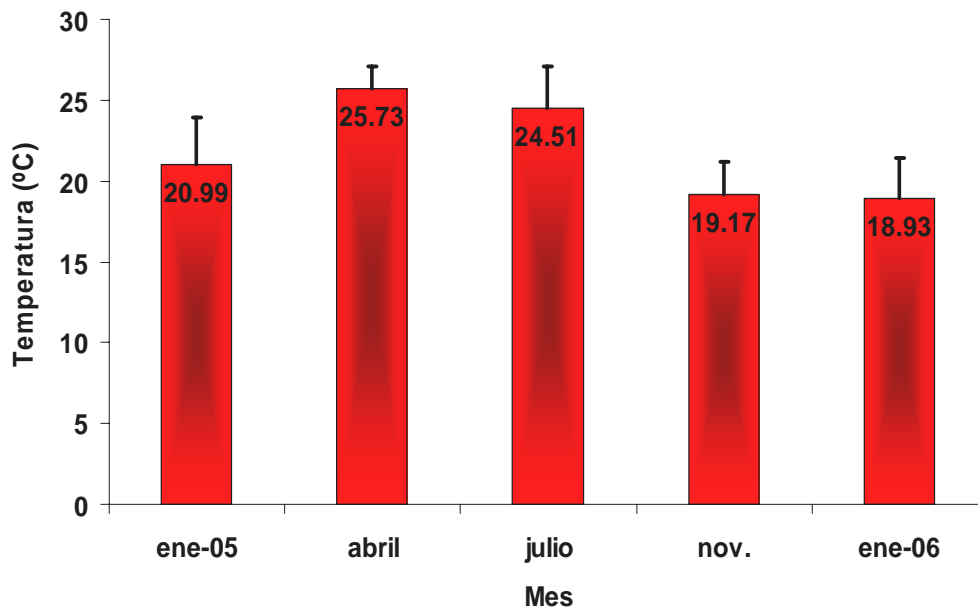


Figura 4. Variación temporal de la temperatura a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).

La amplitud promedio del cauce durante los meses de enero, abril y julio de 2005 no presentó una variación importante, puesto que presentaron valores promedio de 9.16, 8.43 y 9.36 m, respectivamente y $DE \pm 5.39$ -5.29 -5.54, respectivamente. Sin embargo sí se presentó variación a lo largo del cauce, obteniendo la mayor amplitud en la cuenca baja (Cuadro 15). Por el contrario, noviembre presentó el mayor promedio de amplitud del cauce (29.57 m) y una $DE \pm 15.03$, lo cual indica que existe una mayor diferencia de la amplitud del cauce en noviembre a lo largo del área de estudio, con respecto al resto de los meses (Fig. 5). Cabe mencionar que se originaron precipitaciones extraordinarias como consecuencia del huracán STAN, a principios de octubre de 2005.

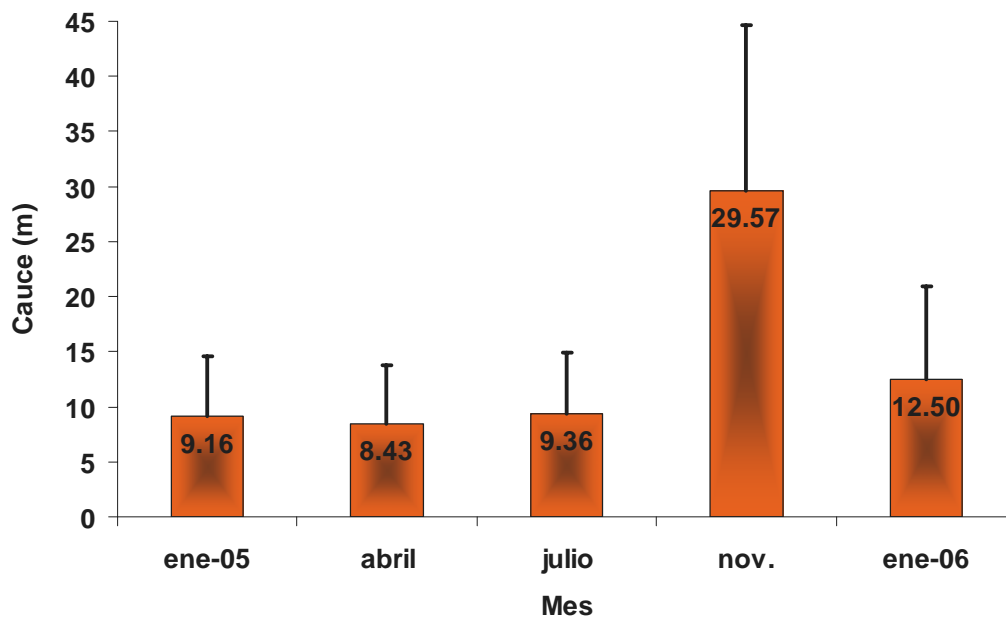


Figura 5. Variación temporal de la amplitud del cauce a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).

De acuerdo con los datos obtenidos de la profundidad a lo largo del ciclo de muestreo (Cuadro 15) abril presentó la menor profundidad a lo largo del cauce, de igual forma el promedio obtenido de 0.60 m, fue el menor con una DE \pm 0.54. Noviembre con un valor promedio de 1.27 m, de profundidad y una DE \pm 1.26, presentó una mayor variación con un intervalo que va de una profundidad mínima de 0.30 y una máxima de 4 m, con respecto al mes de abril con un mínimo de 0.30 m, y un máximo de 1.8 m, correspondientes a la zona alta y baja de la cuenca, respectivamente (Fig. 6).

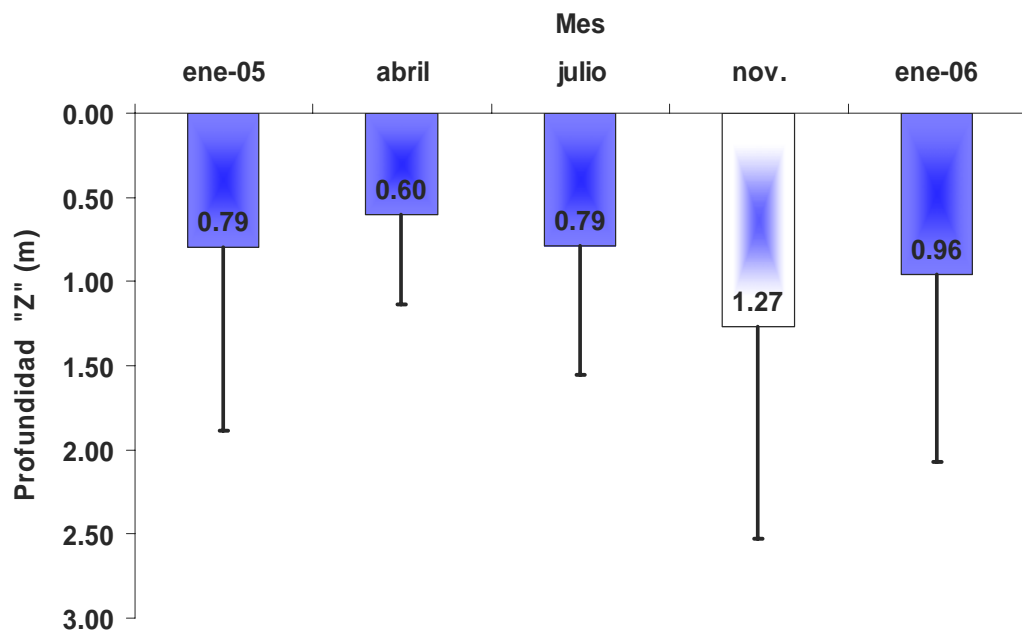


Figura 6. Variación temporal de la profundidad (Z) a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).

Comportamiento temporal de las variables químicas

De acuerdo con la variación durante el ciclo de muestreo, los valores promedio del oxígeno disuelto (OD), (Fig. 7), abril presentó la concentración mínima (4.70 mg/L), no obstante haber presentado una $DE \pm 1.72$ y un $CV \% = 36.64$. Por el contrario, enero de 2006 tuvo la concentración máxima con 7.73 mg/L y una $DE \pm 0.90$ y un coeficiente de variación $CV \% = 11.58$, asimismo este último mes presentó la menor variación de OD, a lo largo de toda la cuenca, mientras que julio con una $DE \pm 2.76$ y un $CV \% = 40.63$, presentó la mayor variación de los datos a lo largo de la cuenca, sin embargo abril presentó las concentraciones mínimas a lo largo del cauce y enero de 2006, las máximas (Cuadro 16).

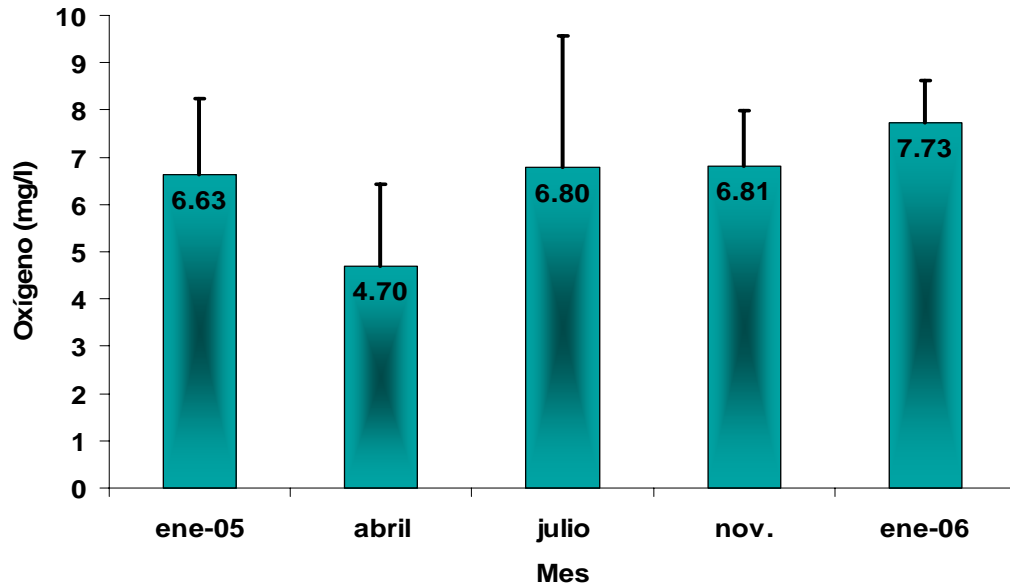


Figura 7. Variación temporal del oxígeno disuelto (O_2) a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).

El amonio mostró variación a lo largo del ciclo (Fig. 8), dentro del cual julio presentó la mayor concentración (mín. de 0.0 y máx. de 0.30) por el contrario, en enero de 2006 no fue detectable a lo largo del cauce. En consideración con la variación promedio temporal del amonio (Fig. 8), se determinó que noviembre y enero de 2006 presentaron las menores concentraciones con valores de 0.01 mg/L y 0.0 mg/L con una DE \pm 0.02 y una DE \pm 0.0 respectivamente, esto indica que el intervalo de valores es menor con respecto al resto de los muestreos, mientras que julio presenta 0.06 mg/L de amonio, mayor concentración promedio con una DE \pm 0.11. No obstante que existen diferencias de concentraciones a lo largo de la cuenca, la concentración no es significativamente diferente (Cuadro 5).

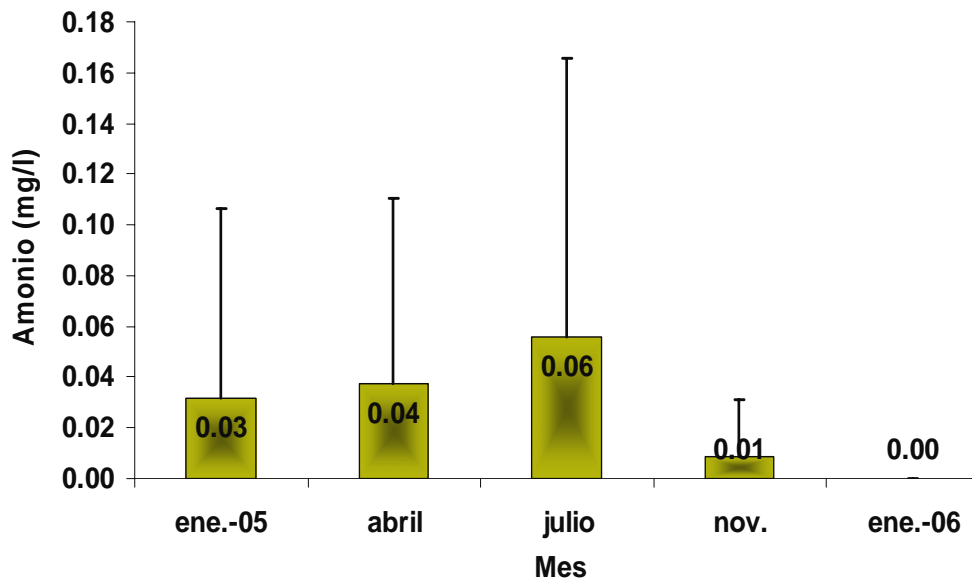


Figura 8. Variación espacial y temporal del amonio (NH_4^+) a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).

Las concentraciones promedio mensuales máximas de nitritos se registraron en el mes de abril con un intervalo de 0.06 y 0.10 mg/L, a lo largo del cauce, por el contrario enero de 2006 presentó las menores concentraciones promedio con un mínimo de 0.02 y máximo 0.08 mg/L, de nitritos (Cuadro 16). La mayor variación de nitritos se detectó en el mes de julio en el cual la concentración mínima fue de 0.02 mg/L, y la máxima de 0.10 mg/L, con una DE \pm 0.03 y un CV % = 56.13. Por el contrario la menor variación de nitritos a lo largo de la cuenca se tuvo en noviembre mes que registró un mínimo de 0.04 mg/L, y un máximo de 0.06 mg/L, a lo largo de la cuenca, con una DE \pm 0.01 y un CV % = 16.03 (Fig. 9).

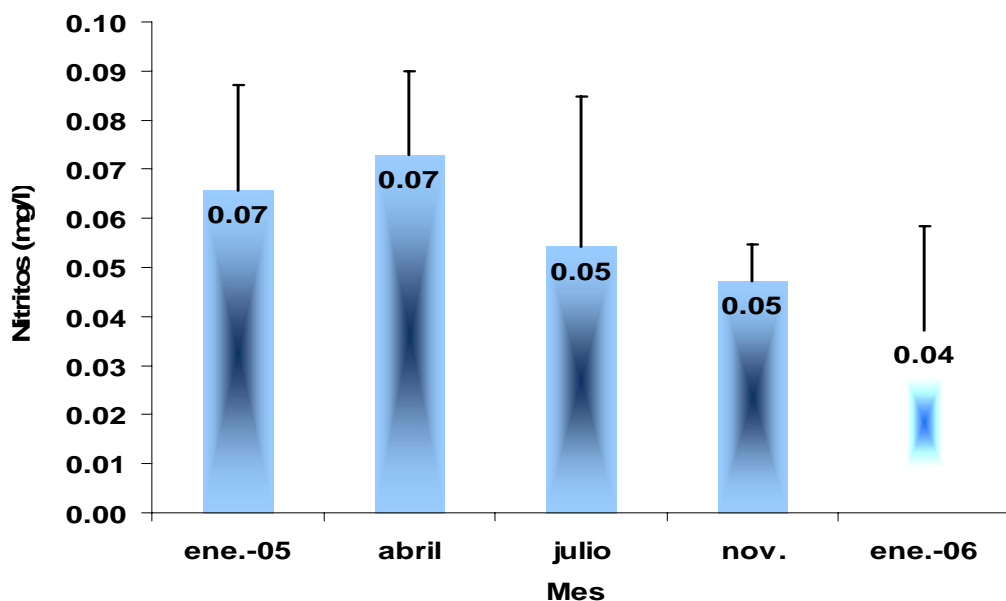


Figura 9. Variación temporal de los nitritos (NO_2^-) a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).

Noviembre registró la menor concentración temporal de nitratos a lo largo del cauce (Fig. 10), con una mínima de 0.08 mg/L, y máximo de 0.30 mg/L, mientras que enero de 2006 presentó las mayores concentraciones a lo largo de la cuenca con un valor mínimo de 0.30 mg/L, y un máximo de 0.40 mg/L.

Los valores promedio de la concentración de nitratos fluctuaron entre 0.14 mg/L y 0.34 mg/L, en el mes de noviembre con unas $DE \pm 0.08$ y 0.05 y unos $CV \% = 61.48$ y 15.59 respectivamente en enero de 2006. Sin embargo, julio registró la mayor concentración durante el ciclo en la zona baja de la cuenca, así mismo éste mes tuvo la mayor variación de datos a lo largo de la cuenca con una $DE \pm 0.15$ y $CV \% = 62.75$, en el cual la concentración va de un mínimo de 0.10 y máximo de 0.50 mg/L (Fig. 10).

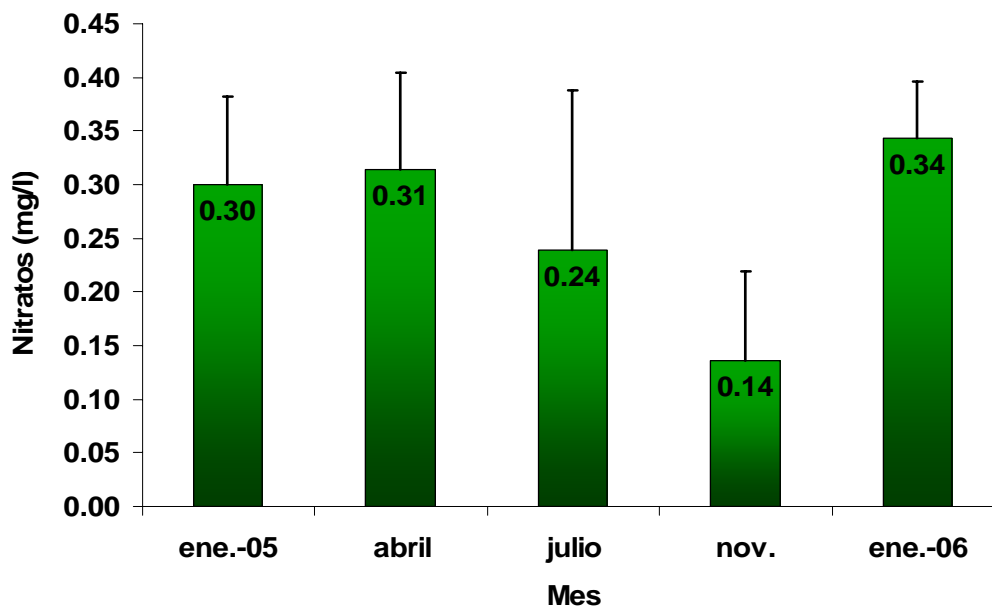


Figura 10. Variación temporal de los nitratos (NO_3^-) a lo largo de la cuenca del río Metztitlán (promedio \pm DE).

Abril presentó las mayores concentraciones de ortofosfatos con un mínimo de 0.06 mg/L, y máximo de 0.35 mg/L, de igual forma el promedio registrado a lo largo del ciclo de 0.15 mg/L con $DE \pm 0.11$ mg/L y $CV \% = 69.49$, correspondió a este mes (Fig. 11), lo que indica que la variación del intervalo de datos obtenidos es mayor que en el resto de los meses de muestreo; por el contrario, noviembre presentó las menores concentraciones a lo largo del cauce con una mínima de 0.04 mg/L, y un máximo de 0.10 mg/L, asimismo registró el valor promedio mas bajo (0.05 mg/L), con una $DE \pm 0.02$ y $CV \% = 40.40$, por lo cual la variación de la concentración de ortofosfatos fue la menor a lo largo de la cuenca.

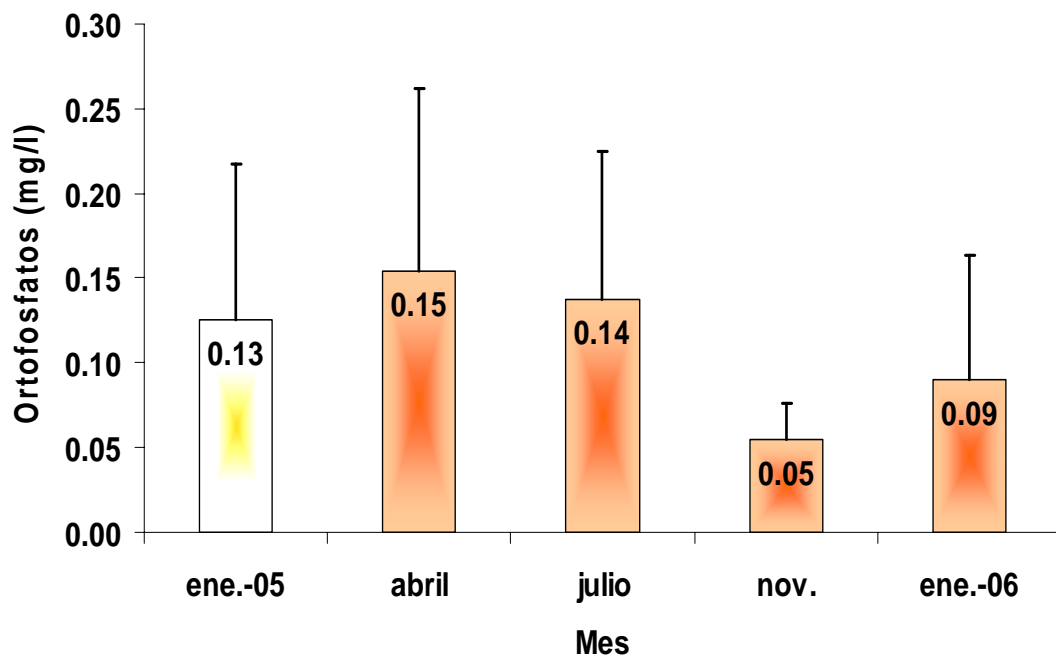


Figura 11. Variación temporal de los ortofosfatos (PO_4^{3-}) a lo largo de la cuenca del río Metztlán (promedio \pm DE).

De acuerdo con los datos obtenidos de las variables limnológicas, es posible separar los muestreos en dos grupos contrastantes, secas y lluvias, correspondientes con los meses de abril y noviembre, los cuales resultaron ser los más disímolos a lo largo del ciclo. Por lo tanto para nuestro propósito abril y noviembre corresponden con secas y lluvias respectivamente.

El análisis discriminante (AD) ordenó las estaciones con relación a las variables limnológicas, en tres grandes grupos (Fig. 12) los cuales corresponden con las zonas, alta, media y baja de la cuenca ilustradas en la (Fig. 2). La primera función canónica discriminante de los 35 datos correspondientes con las siete estaciones explicó 65.6 % de la variación, mientras que la segunda función explicó 38.4 % ($\lambda W = 0.04$, $p < 0.0001$). El AD original clasificó correctamente 97 % las zonas de la cuenca, mientras que la validación cruzada del análisis clasificó correctamente 88.6 % las zonas de la cuenca (Cuadro 1), con respecto a la variación existente de las condiciones limnológicas que se presentaron a lo largo de la cuenca., el mejor valor de clasificación de 100 %, lo presento la zona media, comparada con 70 % y 80 % en las zonas alta y baja, respectivamente.

Cuadro 1. Clasificación de las zonas de la cuenca mediante el análisis discriminante.

		Original			
		Alta	Media	Baja	Total
Casos	Alta	5	0	0	5
	Media	0	20	0	20
	Baja	0	1	9	10
%	Alta	100	0	0	100
	Media	0	100	0	100
	Baja	0	10	90	100

97.1 % de discriminación original

		Validación cruzada.			
		Alta	Media	Baja	Total
Casos	Alta	4	1	0	5
	Media	0	20	0	20
	Baja	1	2	7	10
%	Alta	80	20	0	100
	Media	0	100	0	100
	Baja	10	20	70	100

88.6 % de discriminación con validación cruzada

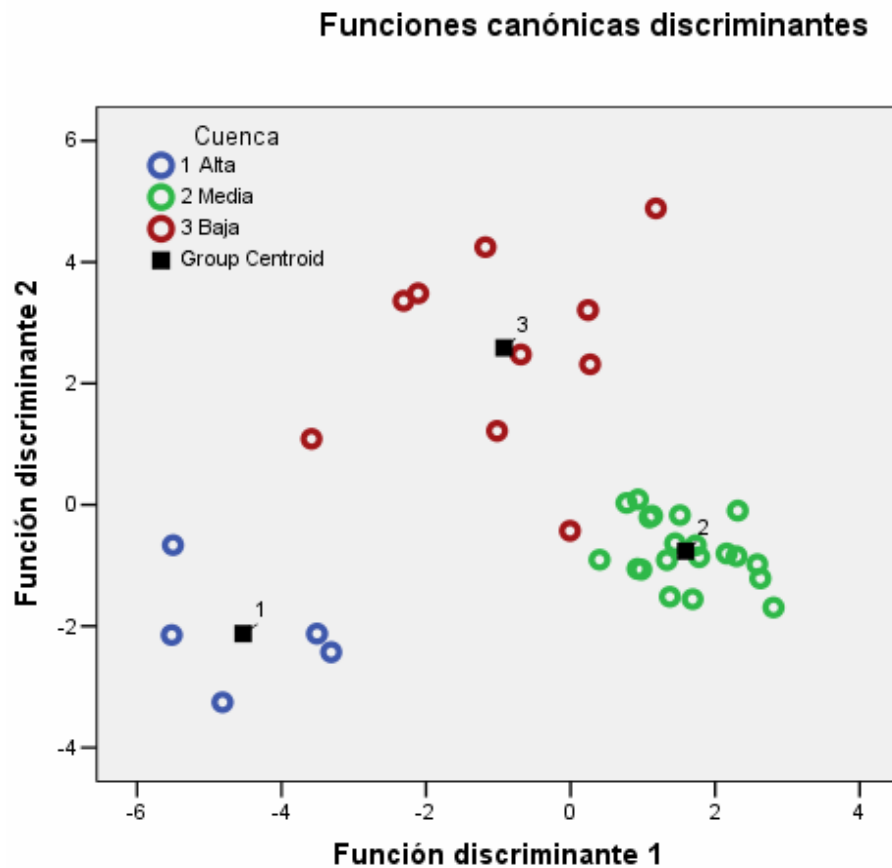


Figura 12. Clasificación de las zonas de la cuenca con respecto a las variables limnológicas

Comportamiento espacial de las variables físicas

Época de secas (abril)

San Salvador (cuenca alta) y Jilotla (cuenca baja), presentaron el menor cauce natural a lo largo de la zona, el cual se amplía en las estaciones correspondientes a la zona media, mientras que en San Cristóbal, debido al pequeño represamiento aguas abajo del agua y a la modificación del cauce natural en un canal, presentó el mayor cauce. Asimismo, la profundidad de la columna de agua (Z) se comportó de manera similar, puesto que la Z mínima se presentó en San Salvador y Jilotla, pero aumentó en la zona media y en San Cristóbal (Cuadro 2).

La velocidad de la corriente fue imperceptible en dos estaciones correspondientes a la zona alta y baja, aumentando gradualmente en la cuenca media y en Jilotla correspondiente a la cuenca baja. La mayor temperatura se registró tanto en la zona alta como en la zona media pero disminuyó en la zona baja. La temperatura máxima correspondió a San Sebastián, mientras que la mínima se tuvo en Jilotla (Cuadro 2).

Época de lluvias (noviembre)

La amplitud del cauce presentó un aumento considerable en la época de lluvias, en la cual se registró un máximo de 50 m, en San Salvador y un mínimo de 6 m en Jilotla, estación que presentó una menor variación en comparación con secas. La profundidad en la época de lluvias se duplicó en comparación con secas, relacionado principalmente con el aumento de la precipitación pluvial atípica producto del huracán Stan, sin embargo San Salvador presentó al igual que en secas la menor profundidad mientras que la mayor se registró en San Cristóbal (Cuadro 2).

La velocidad de la corriente aumentó considerablemente con respecto a la época de secas registrándose la mínima en San Sebastián y la máxima en Jilotla, aunque debido al represamiento ya mencionado, no se registró corriente. La temperatura presentó mayor variación que en secas, no obstante los mayores registros se presentaron en la zona media (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variación espacial y temporal de los parámetros físicos en época de lluvias y secas.

Cuenca	Estación	Cauce m	Profundidad m	Vel. Corr. m/s.	Temperatura °C
Secas					
Alta	Sn. Salvador	5	0.3	0	26.7
Media	Sn. Pablo	8.7	0.4	0.62	26.6
Media	Sn. Sebastián	6.5	0.4	0.93	27.3
Media	Sn. Bartolomé	6.9	0.6	5.23	25.5
Media	Venados	7.3	0.3	1.26	26.3
Baja	Jilotla	4.6	0.4	1.36	23.8
Baja	Sn. Cristóbal	20	1.8	0	23.9
Lluvias					
Alta	Sn. Salvador	50	0.3	6.34	15.2
Media	Sn. Pablo	30	1	6.61	18.6
Media	Sn. Sebastián	21	0.6	3.41	20.5
Media	Sn. Bartolomé	40	0.8	4.75	21.3
Media	Venados	40	0.7	8.48	20.5
Baja	Jilotla	6	1.5	17.33	18.4
Baja	Sn. Cristóbal	20	4	0	19.7

Comportamiento espacial de las variables químicas

Época de secas (abril)

El comportamiento general de los nutrientes durante la época de secas (Cuadro 3) muestra que se tuvieron los valores máximos de amonio, nitritos, nitratos y ortofosfatos tanto en la zona alta como en la zona baja de la cuenca, los cuales disminuyeron en la zona media, donde incluso hubo valores nulos, como es el caso del amonio (Cuadro 3).

Por el contrario, el oxígeno disuelto (OD) registró los valores mínimos en San Salvador y Jilotla respectivamente, el cual aumentó en la zona media. No obstante que San Cristóbal no presentó recambio constante de agua debido al pequeño represamiento aguas abajo, presentó la mayor concentración de OD de toda la cuenca durante la época de secas, lo cual puede deberse al incremento en la actividad fotosintética de las algas (Müller y Weise, 1987; Livingstone, 1991); aunque no se determinó la biomasa del fitoplancton, fue fácilmente observable debido a la coloración verdosa del agua en dicha estación.

Época de lluvias (noviembre)

Durante lluvias, la concentración de amonio fue no registrable, con la excepción de San Cristóbal, aunque aquí se encontró en menor concentración que en secas. Los nitritos, nitratos y ortofosfatos presentaron una disminución con respecto a la temporada de secas, con los valores máximos de cada nutriente en San Cristóbal (Cuadro 3).

Por el contrario el OD, presentó los valores mínimos tanto en la zona alta como en la baja de la cuenca, correspondiente a San Salvador, San Cristóbal y Jilotla, mientras que la zona media registró los valores máximos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variación espacial y temporal de los parámetros químicos en la época de secas y lluvias.

Cuenca	Estación	NH ₄ ⁺ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	OD mg/L
Secas						
Alta	Sn. Salvador	0.02	0.1	0.3	0.25	1.95
Media	Sn. Pablo	0	0.06	0.4	0.15	4.75
Media	Sn. Sebastián	0	0.06	0.2	0.08	4.9
Media	Sn. Bartolomé	0	0.06	0.2	0.09	5
Media	Venados	0	0.06	0.3	0.06	5.2
Baja	Jilotla	0.04	0.08	0.4	0.1	3.5
Baja	Sn. Cristóbal	0.2	0.09	0.4	0.35	7.6
Lluvias						
Alta	Sn. Salvador	0	0.05	0.1	0.06	4.66
Media	Sn. Pablo	0	0.05	0.09	0.04	8.45
Media	Sn. Sebastián	0	0.04	0.08	0.04	7.26
Media	Sn. Bartolomé	0	0.04	0.09	0.04	6.95
Media	Venados	0	0.04	0.09	0.042	7.42
Baja	Jilotla	0	0.05	0.2	0.06	6.31
Baja	Sn. Cristóbal	0.06	0.06	0.3	0.1	6.63

Temporalmente, las variables físicas presentaron cambios entre la época de secas y lluvias (Cuadro 2). En secas, el cauce, la profundidad y la velocidad de la corriente presentaron valores menores que en la época de lluvias, sin embargo la temperatura tuvo un comportamiento inverso, ya que ésta fue mayor en secas.

San Salvador y Jilotla presentaron la menor amplitud del cauce en tanto que la máxima se registró en San Cristóbal en la época de secas. Por el contrario en lluvias la zona alta y media de la cuenca registraron la mayor amplitud del cauce, mientras que la mínima se presentó en la zona baja de la cuenca.

La variación de la profundidad fue pequeña en ambas épocas, sin embargo la variación fue menor en la zona alta y aumentó hacia la zona media, mientras que en las estaciones de la zona baja se presentó un aumento en la variación de la profundidad del 100 % o mayor (Cuadro 2).

La velocidad de la corriente (VC) en secas no fue posible determinarla en dos estaciones correspondientes a las zonas alta y baja, sin embargo ésta aumentó en la zona media de la cuenca. En lluvias, la máxima se registró en Jilotla (Cuadro 2), estación en la que existe una modificación del cauce que lo convierte en un canal angosto, mientras que en San Cristóbal no se detectó corriente, debido al represamiento y ensanchamiento del mismo.

La temperatura en secas fue más elevada, con valores mínimos en las estaciones correspondientes a la zona baja y el máximo (27.3 °C) en la zona media. En lluvias

disminuyó la temperatura, y la mínima se registró en la cuenca alta mientras que la máxima fue en la cuenca media (Cuadro 2).

Con el fin de determinar si los datos cumplen se comportan normalmente y de corroborar la existencia de diferencias de las variables limnológicas entre la época de secas y lluvias (abril y noviembre), se realizó un análisis de varianza (ANOVA), del cual resultó que el cauce, la velocidad de la corriente y la temperatura fueron significativamente diferentes en las épocas de secas y lluvias (Fig. 12), ya que presentan una $p < 0.05$ (Cuadro 4), además de acuerdo con la prueba modificada de Levene, todos los parámetros presentaron normalidad excepto el cauce.

Por el contrario, la profundidad no mostró diferencias significativas entre las épocas de secas y lluvias (Fig. 13), debido a la ampliación del cauce en casi toda la cuenca (Cuadro 2), ya que pasó de un promedio de 8.43 m en abril a 29.50 m de amplitud en noviembre (Cuadro 15).

Cuadro 4. ANOVA de los parámetros físicos entre las épocas de secas y lluvias.

	Cauce (m)	Profundidad (m)	Vel. Corr. (m/s)	Temperatura °C
F	12.32	1.68	6.18	49.27
Niv. Prob.	0.004297 *	0.218989	0.028661 *	0.000014 *
Alfa	0.8959	0.2229	0.6270	0.999
GL	13			

* diferencia significativa entre secas y lluvias con una $p < 0.05$

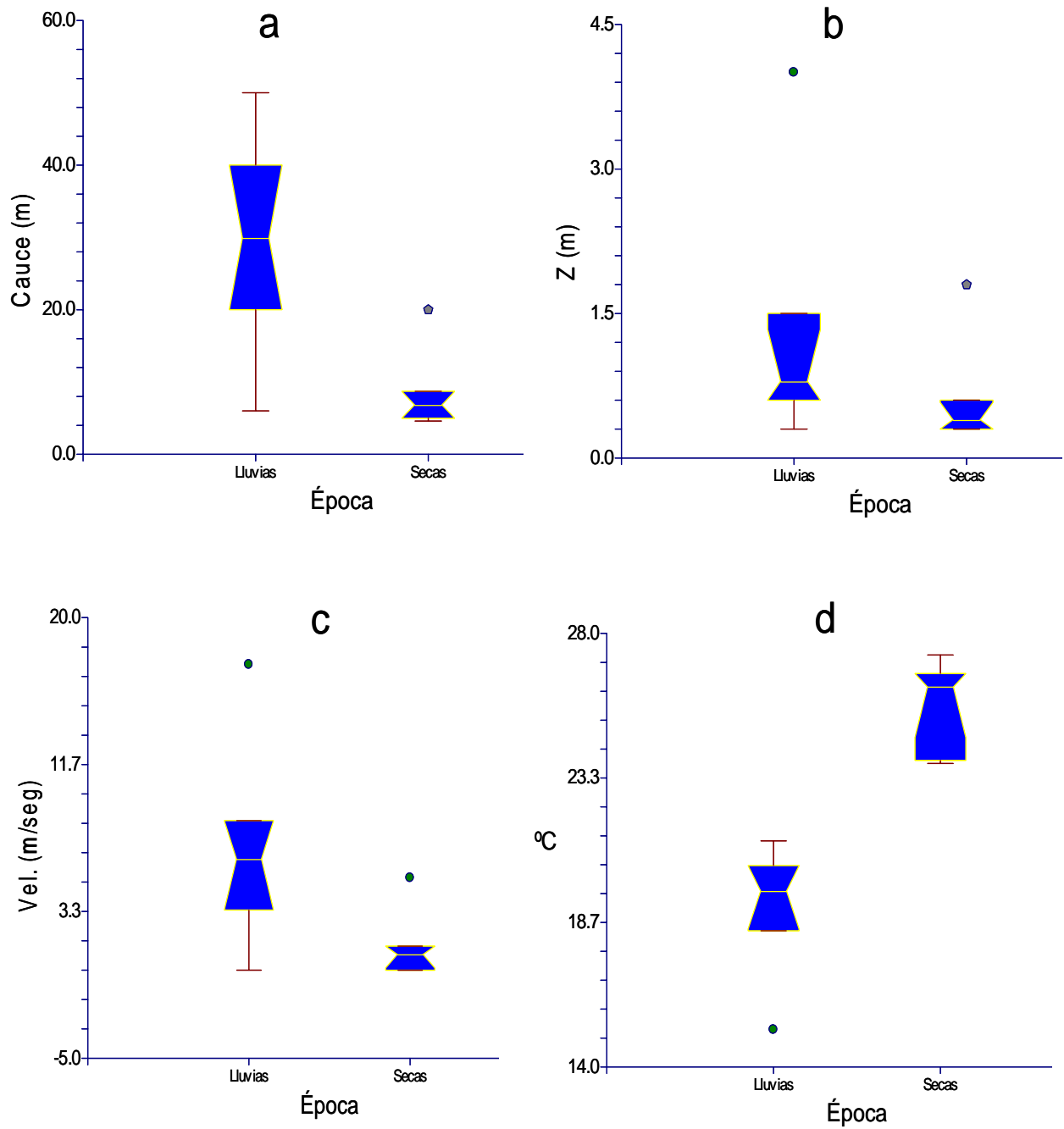


Figura 13. Diagramas de caja y bigotes de la variación temporal en la época de secas y lluvias de las variables físicas: a) cauce, b) profundidad, c) velocidad de la corriente y d) temperatura.

Los parámetros químicos (Cuadro 3) presentaron variación temporal entre las épocas de secas y lluvias. En secas, el amonio, los nitritos, los nitratos y los ortofosfatos presentaron menores concentraciones que en la época de lluvias, contrario a esto el oxígeno registró la mayor concentración en época de secas, aunque aumentó en lluvias.

En secas también, el oxígeno disuelto registró la menor concentración en la zona alta de la cuenca y en Jilotla (zona media); por el contrario, la zona media tuvo la mayor concentración, aunque San Cristóbal presentó el mayor valor pero éste se debió aparentemente a la abundancia de fitoplancton en el lugar. En lluvias, la zona media presentó la mayor concentración de OD, mientras que en la zona alta y baja fue menor, no obstante la oxigenación de la columna de agua es mayor en lluvias (Cuadro 3).

En secas, en la zona media de la cuenca no se detectó amonio, aunque éste sí se registró en las zonas alta y baja de la cuenca, esta última registró la mayor concentración en la estación de San Cristóbal, estación única en que se registró amonio en la época de lluvias (Cuadro 3).

La mayor concentración de nitritos en secas se tuvo en San Salvador, zona alta y en las dos estaciones de la zona baja de la cuenca. En lluvias se registró en la zona alta y baja de la cuenca no obstante fue menor la concentración de nitritos en lluvias que en secas (Cuadro 3). La concentración de nitratos en secas fue mayor en la cuenca baja y en una estación de la cuenca media (San Pablo) y las correspondientes a la zona baja, mientras que en lluvias la mayor concentración se presentó en la zona baja de la cuenca (Cuadro 3).

La zona media de la cuenca presentó la menor concentración de ortofosfatos en secas mientras que la máxima se presentó en las zonas alta y baja. Asimismo, en lluvias la zona con menor concentración fue la zona media. Aunque se presentó el mismo patrón en ambas épocas, en lluvias la concentración fue menor (Cuadro 3).

El análisis realizado con las variables químicas (Cuadro 5) determinó que el oxígeno, los nitritos, los nitratos y los ortofosfatos son significativamente diferentes entre los meses representativos de secas y lluvias. Por el contrario el amonio no fue significativamente diferente (Fig. 14), ya que el nivel de probabilidad que resultó de la ANOVA es mayor que el nivel de significancia de 0.05 (Cuadro 5).

Cuadro 5. ANOVA de los parámetros químicos entre las épocas de secas y lluvias.

	OD. (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
F	7.2	0.97	13.22	14.82	5.81
Niv. Prob.	0.0199 *	0.3446	0.00333 *	0.0023 *	0.0329 *
Alfa	0.6930	0.1481	0.9169	0.9415	0.6006
GL	13				

* diferencia significativa entre secas y lluvias con una $p < 0.05$

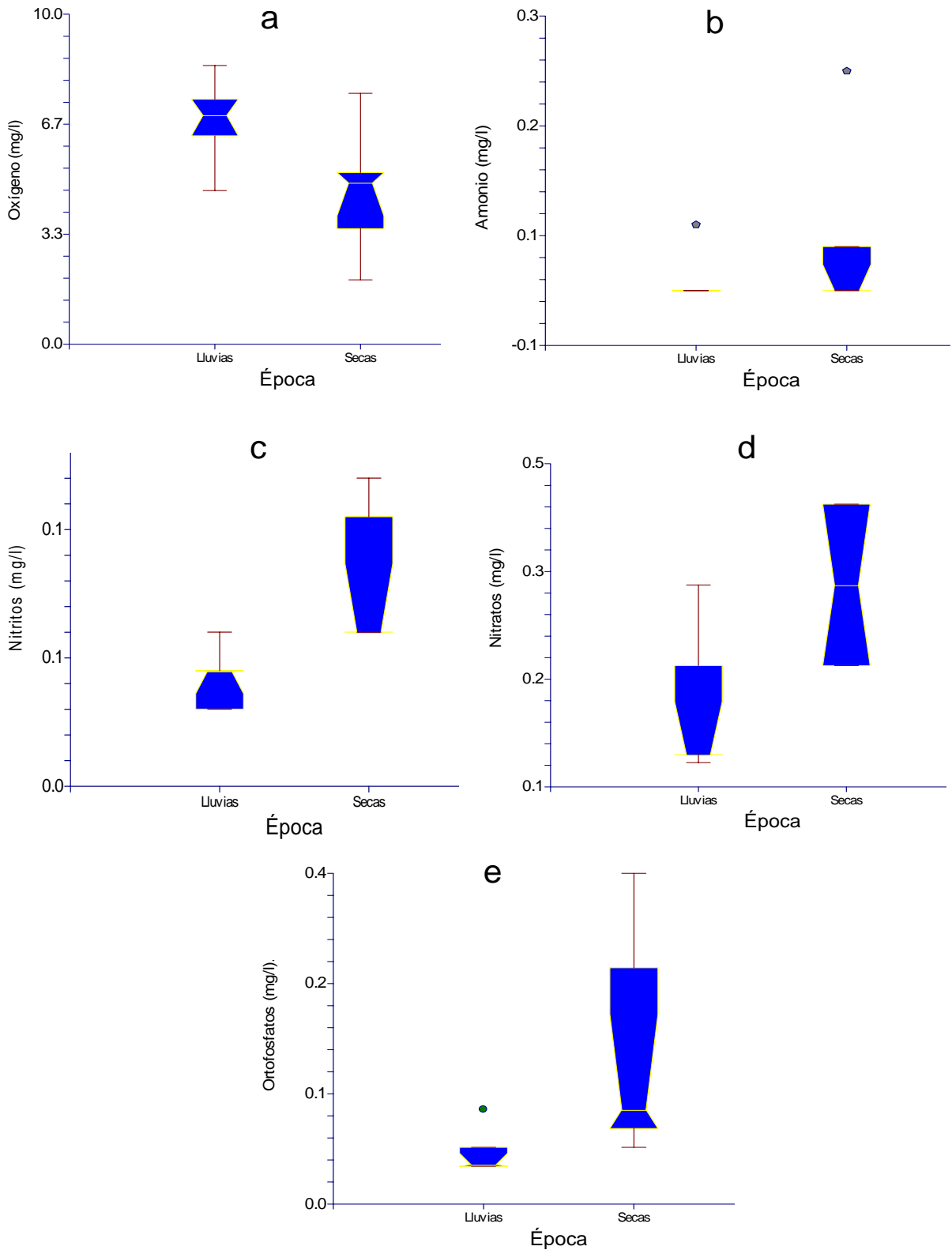


Figura 14. Diagramas de caja y bigotes de la variación temporal en la época de secas y lluvias de las variables químicas: a) oxígeno, b) amonio, c) nitritos, d) nitratos y e) ortofosfatos.

Los resultados de los ANOVA determinaron que del total de las variables medidas siete presentaron diferencia significativa entre la época de secas y lluvias, con excepción de la profundidad y el amonio (Anexo 2).

Composición de la entomofauna acuática

Abundancia y riqueza de géneros

La entomofauna acuática en la cuenca de Metztitlán estuvo representada por 10 órdenes, 39 familias y 58 géneros, con un total de 24,739 individuos de estadios inmaduros, de larvas y adultos de insectos acuáticos, estos últimos correspondientes al orden Coleoptera (Cuadro 6). La abundancia relativa de estuvo representada primordialmente por tres órdenes, Ephemeroptera con 52 %, Coleoptera con 21 % y Diptera con 20 % que en conjunto conformaron el 93 % de la abundancia total de organismos; el orden Trichoptera representó el 5 %, el resto presentaron una abundancia relativa menor o igual a 1 % (Fig. 15).

Dentro de cada orden existen organismos dominantes correspondientes a un determinado género. Los géneros dominantes variaron, de tal forma que para el orden Ephemeroptera: *Baetis*, *Leptohyphes*, *Paraleptophlebia* y *Baetodes*, fueron los géneros dominantes con 83 % de la abundancia relativa correspondiente a este orden; para el orden Coleoptera: *Heterelmis* y *Microcylloepus* representaron el 85 % de la abundancia relativa correspondiente, finalmente el orden Diptera representado por el género *Simulium* con 95 % de la abundancia relativa de los dípteros. De igual forma para los órdenes con menor riqueza taxonómica y menor abundancia relativa existen géneros dominantes como,

Cheumatopsyche correspondiente al orden Trichoptera, pero en la abundancia total de organismos no es muy representativo (Fig. 16).

Se consideró la abundancia de organismos correspondientes a cada género de la entomofauna acuática, de los meses característicos de cada época y se apreció que la abundancia de organismos fue mayor en la época de secas (abril) que en lluvias (noviembre). Los órdenes con mayor abundancia en secas fueron, Ephemeroptera con 3,321 organismos, Coleoptera con 1,903 y Diptera con 1,024. Mientras que en lluvias dominaron los órdenes Diptera con 1,221, Ephemeroptera con 1,042 y Coleoptera con 6,47. La mayor abundancia se registró en los sitios de recolecta correspondientes a la zona media de la cuenca, mientras que en las zonas alta y baja disminuyó tanto en secas como en lluvias.

La mayor riqueza se presentó en la zona media de la cuenca con 33 géneros en secas mientras que las zonas alta y baja presentaron 15 y 7 géneros respectivamente en secas. En lluvias disminuyó la riqueza y se registraron 15 géneros en la zona media, asimismo en las zonas alta y baja se registraron 2 y 6 géneros respectivamente.

Cuadro 6. Composición taxonómica de la entomofauna acuática en el río Metztlán. Los números entre paréntesis corresponden a las familias y géneros, respectivamente.

Orden	Familia	Género	Autoridad	Abreviación	Organismos
10	39	58			24739
COLLEMBOLA (1,1)	ENTOMOBRYIDAE	<i>Entomobrya</i>	Rondani, 1861	Ento	1
EPHEMEROPTERA (4, 10)	BAETIDAE	<i>Baetis</i>	Leach, 1815	Baetis	3659
		<i>Baetodes</i>	Needham y Murphy, 1924	Baeto	1998
		<i>Camelobaetidius</i>	Demoulin, 1966	Camel	842
	HEPTAGENIIDAE	<i>Epeorus (Iron)</i>	Eaton, 1983	Ironod	2
		<i>Heptagenia</i>	Walsh, 1863	Hepta	4
	LEPTOPHLEBIDAE	<i>Paraleptophlebia</i>	Lestage, 1916	Paral	2192
		<i>Thraulodes</i>	Ulmer, 1920	Thrau	80
		<i>Traverella</i>	Edmunds, 1948	Traver	609
	TRICORYTHIDAE	<i>Leptohyphes</i>	Eaton, 1882	Lepto	2795
		<i>Tricorytodes</i>	Ulmer, 1920	Trico	565
ODONATA (6,6)	AESHNIDAE	<i>Aeshna</i>	Fabricius, 1775	Aeshna	8
	CALOPTERYGIDAE	<i>Hetaerina</i>	Hagen y Selys, 1853	Heta	21
	COENAGRIONIDAE	<i>Argia</i>	Rambur, 1842	Argia	66
	GOMPHIDAE	<i>Ophiogomphus</i>	Selys y Longchamps, 1854	Ophio	123
	LIBELLULIDAE	<i>Libellula</i>	Linnaeus, 1758	Libe	3
	PROTONEURIDAE	<i>Neoneura</i>	Selys, 1860	Neon	25
HEMIPTERA (5,5)	BELOSTOMATIDAE	<i>Belostoma</i>	Latreille, 1807	Belos	4
	CORIXIDAE	<i>Graptocorixa</i>	Hungerford, 1930	Grapto	182
	MESOVELLIDAE	<i>Mesovelina</i>	Mulsant y Rey, 1852	Meso	4
	NAUCORIDAE	<i>Ambrysus</i>	Stal, 1861	Ambry	9
	VELLIDAE	<i>Rhagovelia</i>	Mayr, 1865	Rhago	17
MEGALOPTERA (1,1)	CORYDALIDAE	<i>Corydalus</i>	Latreille, 1802	Cory	118
NEUROPTERA (1,1)	SISYRIDAE	<i>Sisyra</i>	Burmeister, 1839	Sisyra	1
TRICHOPTERA (7, 11)	GLOSSOSOMATIDAE	<i>Culoptila</i>	Ross, 1938	Culop	8
		<i>Atopsyche</i>	Banks, 1905	Atopsy	65
	HYDROPSYCHIDAE	<i>Cheumatopsyche</i>	Wallengren, 1891	Cheum	944
		<i>Leptonema</i>	Guerin-Meneville, 1843	Lenema	23
		<i>Hydroptila</i>	Dalman, 1819	Hptila	90
	HYDROPTILIDAE	<i>Leucotrichia</i>	Mosely, 1934	Leuco	27
		<i>Ochrotrichia</i>	Mosely, 1934	Ochro	20
		<i>Ceraclea</i>	Stephens, 1829	Cerac	24
	LEPTOCERIDAE	<i>Nectopsyche</i>	Mueller, 1879	Necto	2
		<i>Chimarra</i>	Stephens, 1829	Chima	10
POLYCENTROPODIDAE	<i>Neureclipsis</i>	McLachlan, 1864	Neur	1	

Cuadro 6. Continuación

LEPIDOPTERA (1,2)	PYRALIDAE (2)	<i>Paraponyx</i>	Hübner, 1825	Parap	1
		<i>Petrophila</i>	Guilding, 1830	Petr	14
COLEOPTERA (7, 13)	DRYOPIDAE	<i>Helichus</i>	Erichson, 1847	Heli	16
	DYTISCIDAE	<i>Hydroporus</i>	Clairville, 1806	Hydro	2
		<i>Oreodytes</i>	Seidlitz, 1887	Oreod	32
		<i>Rhantus</i>	Dejean, 1833	Rhan	23
		<i>Heterelmis</i>	Sharp, 1882	Hete	3064
	ELMIDAE	<i>Microcyloepus</i>	Hinton, 1935	Micro	1454
		<i>Neocyloepus</i>	Brown, 1970	Neocy	15
		<i>Phanocerus</i>	Sharp, 1882	Phan	115
		<i>Stenelmis</i>	Dufour, 1835	Stenel	3
		<i>Pelodytes</i>	Regimbart, 1879	Pelto	2
	HALIPLIDAE	<i>Berosus</i>	Leach, 1817	Beros	5
	HYDROPHILIDAE	<i>Hydrophilus</i>	Müller, 1764	Hyd	7
	HYDROPHILOIDEA	<i>Psephenus</i>	Haldeman, 1853	Pseph	529
DIPTERA (6,8)	PSEPHENIDAE	<i>Probezzia</i>	Kieffer, 1906	Prob	91
	CERATOPOGONIDAE	<i>Clinocera</i>	Meigen, 1803	Clino	3
	EMPIDIDAE	<i>Hemerodramia</i>	Meigen, 1822	Heme	113
		<i>Limnophora</i>	Robineau-Desvoid, 1830	Limno	8
	MUSCIDAE	<i>Simulium</i>		Simul	4661
	SIMULIDAE	<i>Odontomyia</i>	Meigen, 1803	Odont	2
	STRATIOMYIDAE	<i>Chrysops</i>	Meigen, 1803	Chrys	36
		<i>Tabanus</i>	Linnaeus, 1758	Tabanus	1

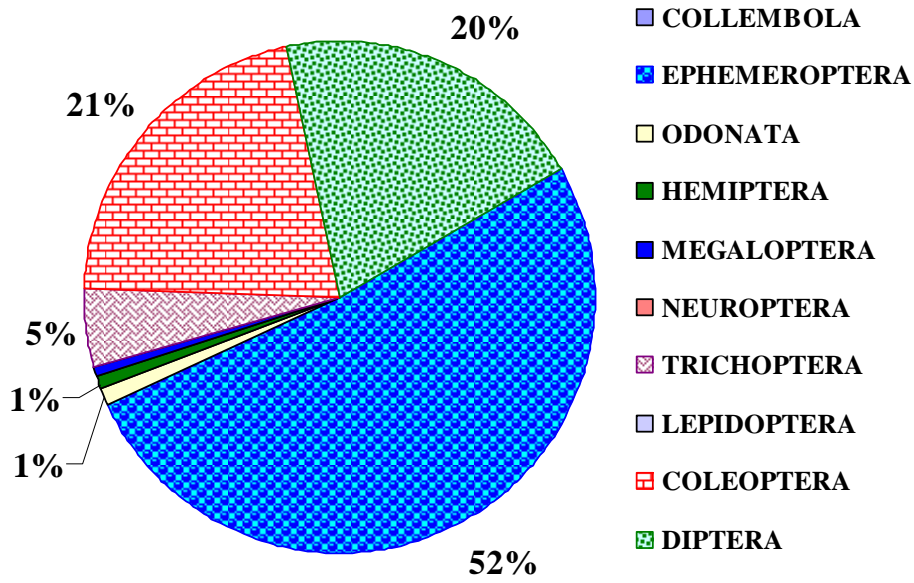


Figura 15. Abundancia relativa total anual correspondiente a los diversos órdenes de la entomofauna acuática.

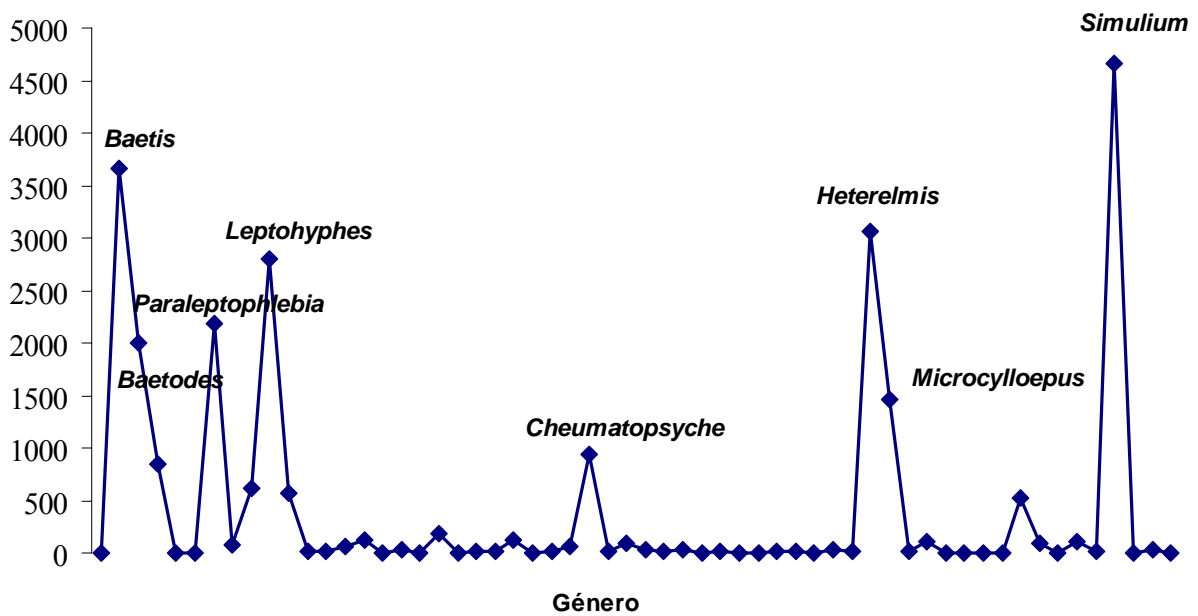


Figura 16. Abundancia total anual de la entomofauna acuática y géneros dominantes.

Con respecto a la frecuencia y abundancia de organismos la entomofauna fue clasificada en géneros: dominantes (Frec.> 60 % y Abun.> 23), típicos (Frec.> 60 % y Abun. ≤ 23), oportunistas (Frec.≤ 60 % y Abun.> 23), y raros (Frec.≤ 60 % y Abun.≤ 23). El diagrama de Olmstead y Tukey presentó 20 géneros dominantes, de los cuales el género *Simulium* presentó la mayor abundancia (4,661 organismos), los oportunistas por 7, de los cuales el género *Graptocorixa* presentó la mayor abundancia (182 organismos) sin embargo no es el más frecuente. Los típicos estuvieron representados por cuatro géneros, *Leptonema* fue el más abundante (23 organismos) y más frecuente. Mientras que los raros fueron representados por 28 géneros, el más abundante fue *Rhantus* (23 organismos), más no el más frecuente de este grupo (Fig. 17).

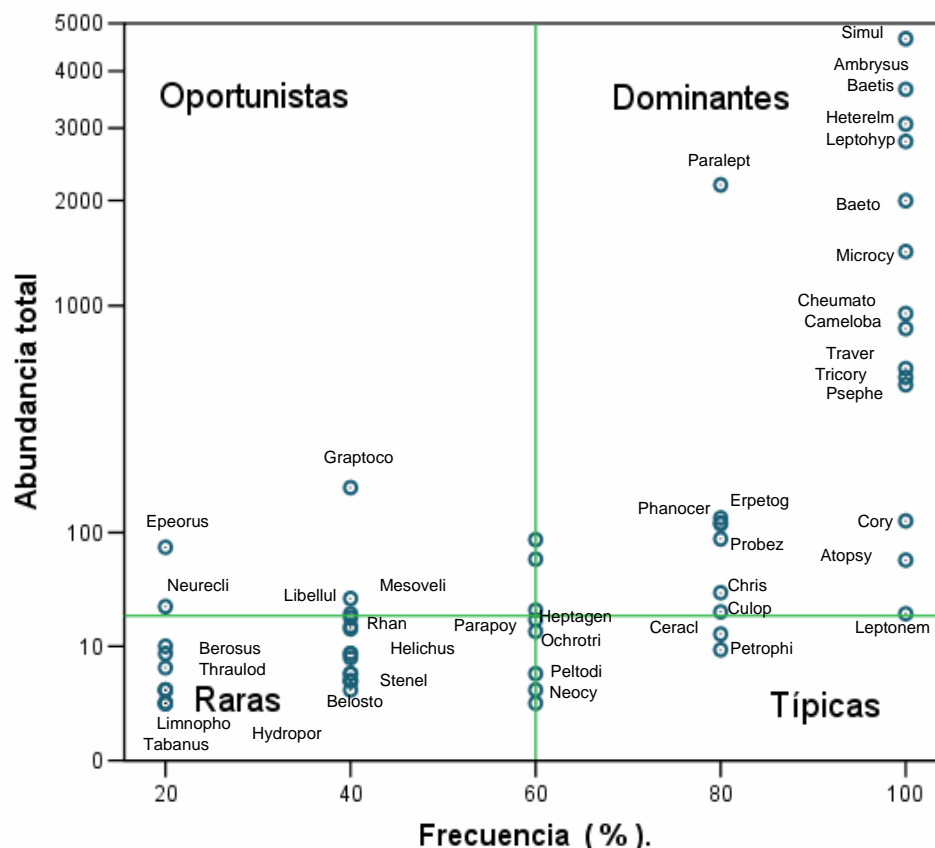


Figura 17. Diagrama de Olmstead y Tukey de la entomofauna acuática del río Metztitlán.

Variación espacial de la riqueza taxonómica

La variación espacial de la riqueza de taxa (géneros) tuvo diferencias en cuanto a la comunidad registrada en la cuenca de Metztitlán (Fig. 18). San Salvador (cuenca alta) presentó mayor riqueza de géneros en abril y enero de 2005 y la mínima en julio debido a la ausencia de organismos. Las estaciones correspondientes a la cuenca media (San Pablo, San Sebastián, San Bartolomé y Venados) presentaron menor variación de la riqueza a lo largo del ciclo de muestreo, excepto en noviembre (lluvias) en el cual la riqueza disminuyó considerablemente en todos los sitios de muestreo. En la cuenca baja el comportamiento varía entre las dos estaciones correspondientes a esta área. En Jilotla los meses con mayor riqueza de géneros fueron enero y julio de 2005. Estos meses presentaron disminución de la riqueza taxonómica aproximada al 40 % en los meses restantes, mientras que en San Cristóbal el mes con mayor riqueza correspondió a enero de 2005 (80 %), la cual disminuyó aproximadamente a 13 % en el resto de los meses.

Época de Secas (abril)

Como ya se mencionó anteriormente, para el propósito del estudio se tomaron en consideración abril y noviembre meses representativos correspondientes a cada época. En abril se registró un total de 6,818 organismos correspondientes a 44 géneros de la entomofauna acuática en la cuenca de Metztitlán, de los cuales corresponden 278 organismos (4 %) a la zona alta. La zona media con 5,784 organismos representó un 85 % y finalmente, la zona baja contribuyó con 756 organismos (11 %) al total de organismos cuantificados durante este mes.

La zona alta de la cuenca se caracterizó por la dominancia del género *Graptocorixa* (Hemiptera), el cual representó 57 % de la abundancia relativa de la zona. La zona media presentó cuatro géneros dominantes, de los cuales *Leptohyphes* representó 18 % de la abundancia relativa y *Paraleptophlebia* el 12.5 % (Ephemeroptera), mientras que *Microcylloepus* y *Heterelmis* (Coleoptera) representaron 16 % y 12.7 % de la abundancia relativa en la zona media, respectivamente. Finalmente, la zona baja de la cuenca estuvo dominada por el género *Simulium*, con 98 % de la abundancia relativa.

Época de Lluvias (noviembre)

En noviembre se colectaron un total de 2,967 organismos representados por 17 géneros, repartidos entre las tres zonas correspondientes a la cuenca. La zona alta presentó dos organismos pertenecientes a los géneros *Heterelmis* y *Paraleptophlebia*, a los cuales correspondió el 0.06 % de la abundancia relativa. La zona media fue más diversa que la alta y baja. Presentó 2,310 organismos con dominancia de tres géneros *Baetis* (Ephemeroptera) con 21 %, *Heterelmis* (Coleoptera) con 27.5 % y *Simulium* con 25.8 %, que en conjunto representaron el 78 % de la abundancia relativa de la cuenca durante este mes. Finalmente, la cuenca baja, con 655 organismos que corresponden al 22 % de la abundancia de la cuenca, estuvo dominada por el género *Simulium* con 68 % de la abundancia relativa de la zona.

Variación temporal de la riqueza de *taxa*

Al considerar la suma de géneros presentes en cada estación enero de 2005 presentó 138 géneros, la mayor riqueza total de *taxa* en la cuenca la cual disminuyó gradualmente en abril con 116, julio con 91 y noviembre con 48 géneros, mes con la menor riqueza taxonómica, que aumentó nuevamente en enero de 2006 a 91 géneros.

En cuanto a la riqueza de géneros presente en el área de estudio, la zona alta y baja de la cuenca presentaron la menor riqueza, de entre las cuales San Cristóbal presentó la menor con un total de 13 géneros, por el contrario en San Bartolomé se registraron 39 géneros a lo largo del ciclo, en general la cuenca media presentó la mayor riqueza taxonómica (Fig. 18).

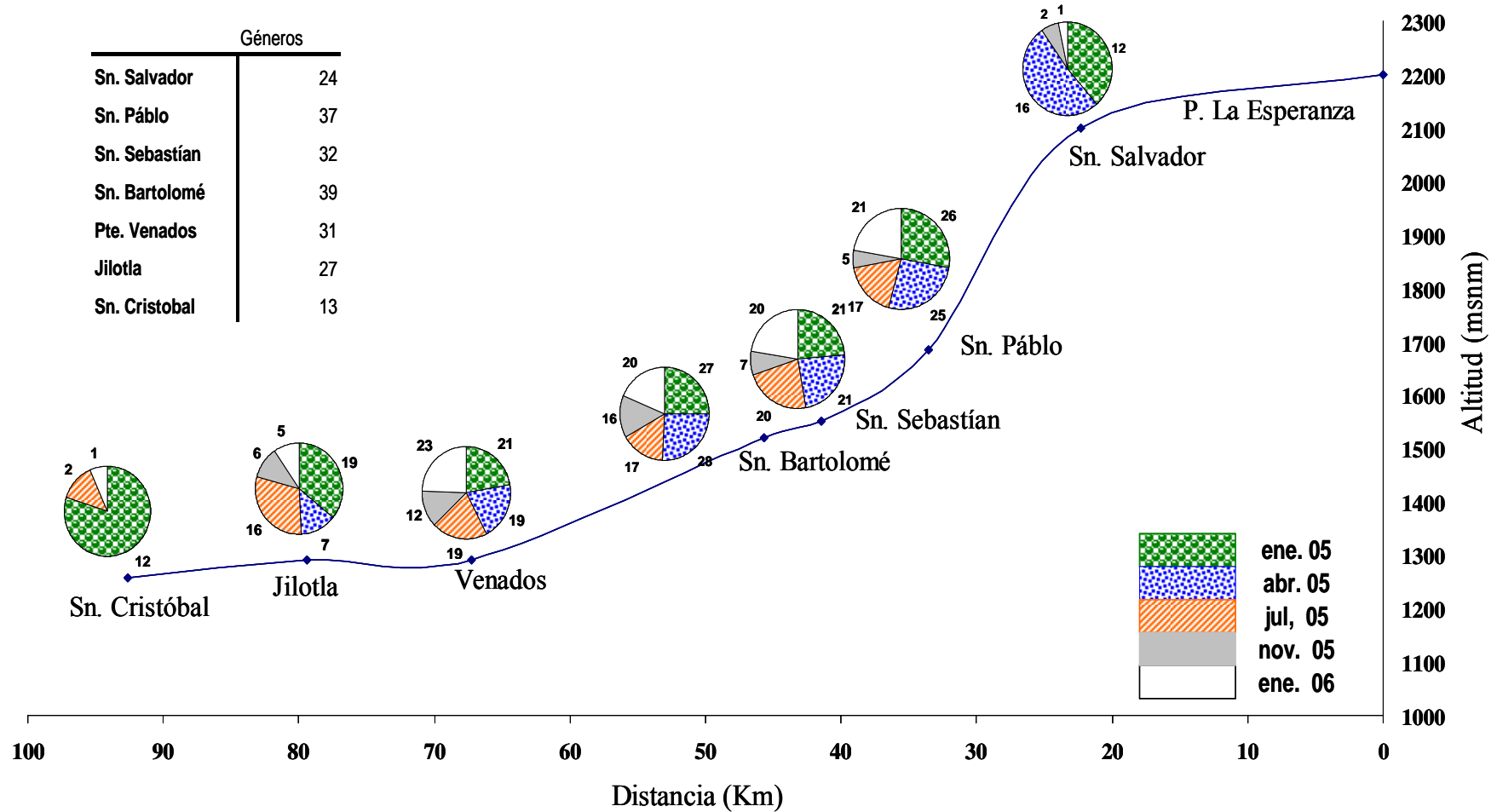


Figura 18. Variación espacial y temporal de la riqueza taxonómica (géneros).

Los números alrededor de los diagramas de pastel indican el total de géneros para cada uno de los muestreos en cada estación; el cuadro de la izquierda presenta el número de géneros diferentes presentes en cada estación.

Categorías tróficas

Anteriormente se mencionó que el número de *taxa* presentó variación espacial y temporal (Fig. 18) a lo largo de la cuenca. Temporalmente la época de secas presentó mayor riqueza de géneros la cual disminuyó en secas, asimismo los grupos tróficos disminuyeron en lluvias, por otra parte la abundancia de organismos correspondientes a cada grupo trófico presentó variación, sin embargo las categorías tróficas representadas por los organismos recolectores (collectors), depredadores (predators) y desmenuzadores (Shredders) fueron los mejor representados en ambas épocas. Igualmente, el comportamiento espacial de las categorías tróficas tuvo variación en la cuenca, al considerar la abundancia de organismos (Fig. 19), la abundancia de los organismos carroñeros (grazers) y raspadores (collectors) fue mayor en las zonas alta y baja, mientras que presentó disminución en la zona media de la cuenca.

De igual forma, los depredadores presentaron la mayor abundancia en las zonas alta y baja, principalmente en la estación de San Cristóbal (Fig. 19) con más del 50 % de la abundancia relativa. En cuanto a la zona media de la cuenca dominaron los organismos recolectores, con 50 % de la abundancia relativa o más, excepto en San Pablo. Mientras que en Jilotla dominaron los organismos filtradores con 85 % de la abundancia relativa. Finalmente, los organismos desmenuzadores dominaron en los sitios de muestreo correspondientes a la zona media, que disminuyó en las zonas alta y baja de la cuenca.

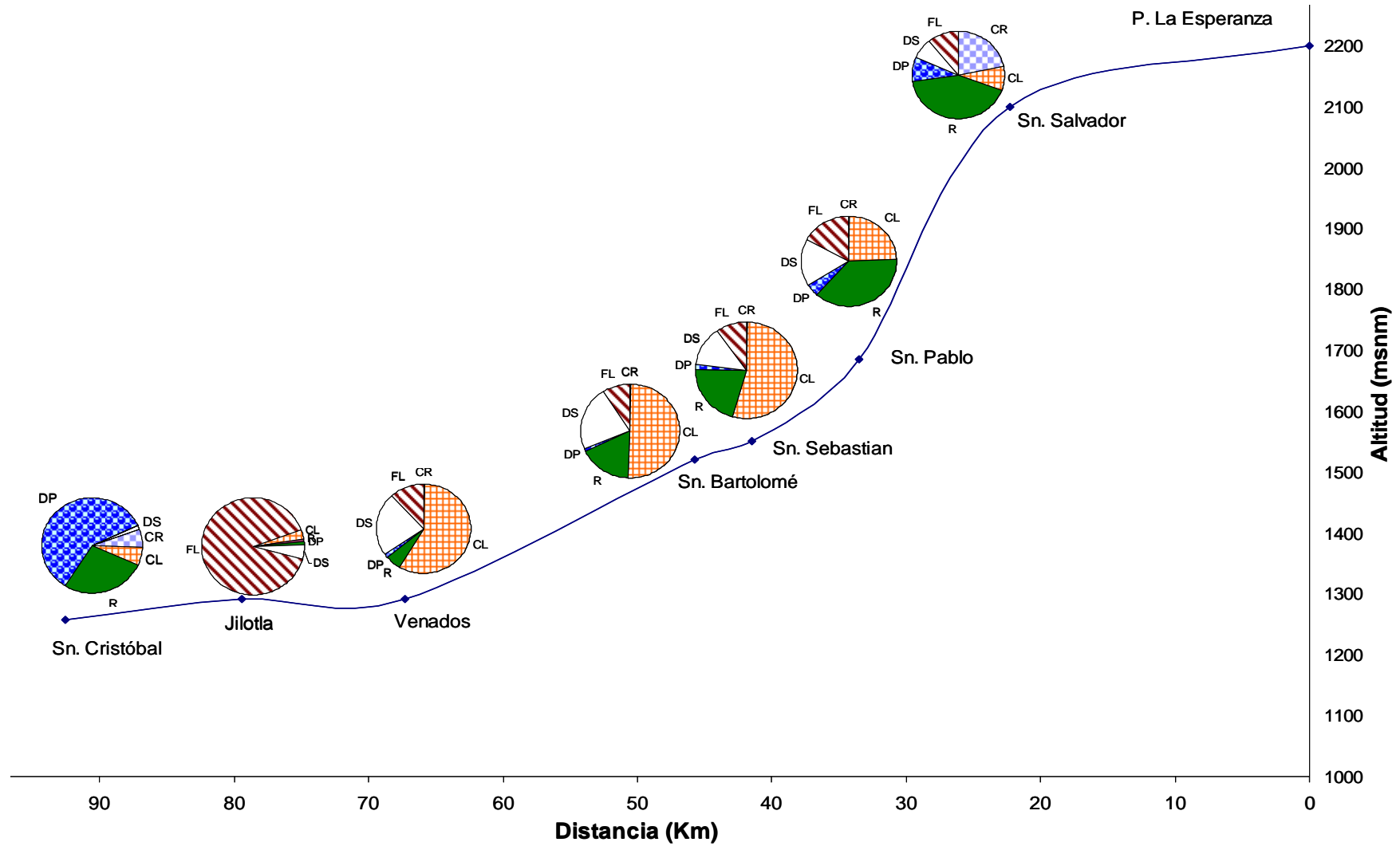


Figura 19. Categorías tróficas en la cuenca de Metztitlán con base en la abundancia de organismos correspondientes a cada grupo trófico. CR = carroñero, FL = filtrador, CL = recolector, DP = depredador, DS = desmenuzador y R = raspador.

El comportamiento espacial de las categorías tróficas presentes a lo largo de la cuenca, en consideración con los diversos *taxa* (géneros) que las representan se aprecia en la figura 20. De acuerdo con el número de *taxa* correspondientes a cada grupo trófico el comportamiento es similar a lo largo de la cuenca, con excepción de los filtradores, el cual muestra un aumento del número de taxones en la zona media. Igualmente, los depredadores presentaron mayor riqueza taxonómica en San Cristóbal donde hubo una disminución de desmenuzadores. En cuanto al número de taxones de los organismos carroñeros, éstos presentaron la menor abundancia taxonómica en seis estaciones, con excepción de la estación de San Cristóbal que presentó un aumento.

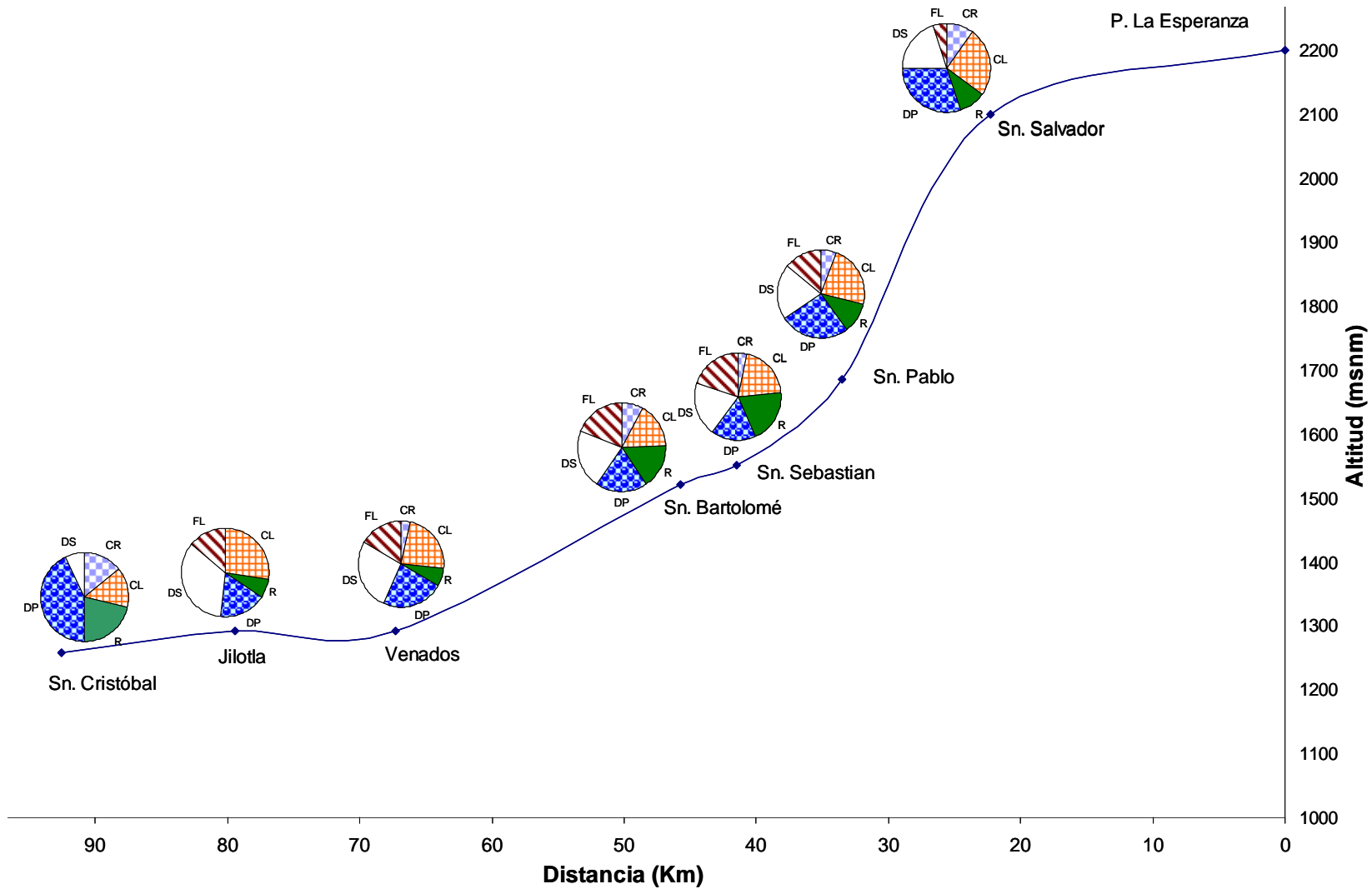


Figura 20. Categorías tróficas en la cuenca de Metztitlán con base en la riqueza taxonómica (géneros) correspondiente a cada grupo trófico. CR = carroñero, FL = filtrador, CL = recolector, DP = depredador, DS = desmenuzador y R = raspador.

Categorías tróficas en secas (abril)

En consideración con la variación temporal de la abundancia de cada grupo trófico (Fig. 21). La época de secas presentó una dominancia de organismos raspadores en la zona alta de la cuenca y en San Pablo que corresponde a la zona media, aunque en esta última estación se detectó un aumento en la abundancia de organismos recolectores, al igual que en el resto de las estaciones. Asimismo, los desmenuzadores aumentaron los sitios de muestreo de la zona media y disminuyeron considerablemente en la zona baja de la cuenca, en donde dominaron los organismos filtradores con 91 % (Jilotla) y depredadores con 74 % (San Cristóbal).

Al tomar en consideración la riqueza de géneros correspondientes a cada grupo trófico (Fig. 22), en la zona alta de la cuenca se presentó un mayor porcentaje de depredadores como de recolectores. La zona media fue más homogénea en función del porcentaje respectivo de cada grupo trófico, excepto en los carroñeros, grupo que disminuyó conforme se pasó a la zona baja, en la cual éstos ya no se presentaron, sin embargo en esta zona se apreció una dominancia de recolectores, filtradores y desmenuzadores.

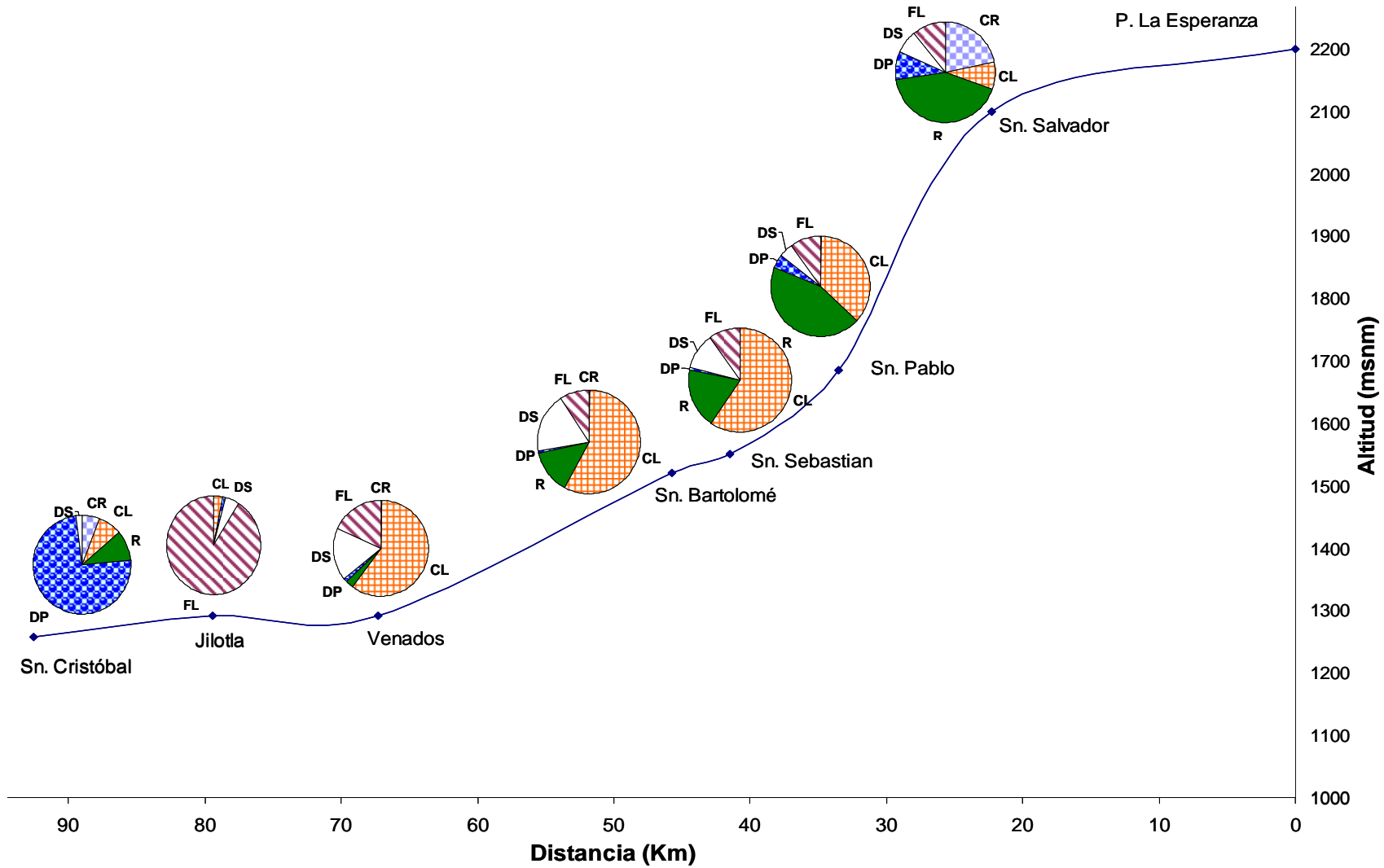


Figura 21. Categorías tróficas en la época de secas con base en la abundancia de organismos correspondientes a cada grupo trófico.

CR = carroñero, FL = filtrador, CL = recolector, DP = depredador, DS = desmenuzador y R = raspador.

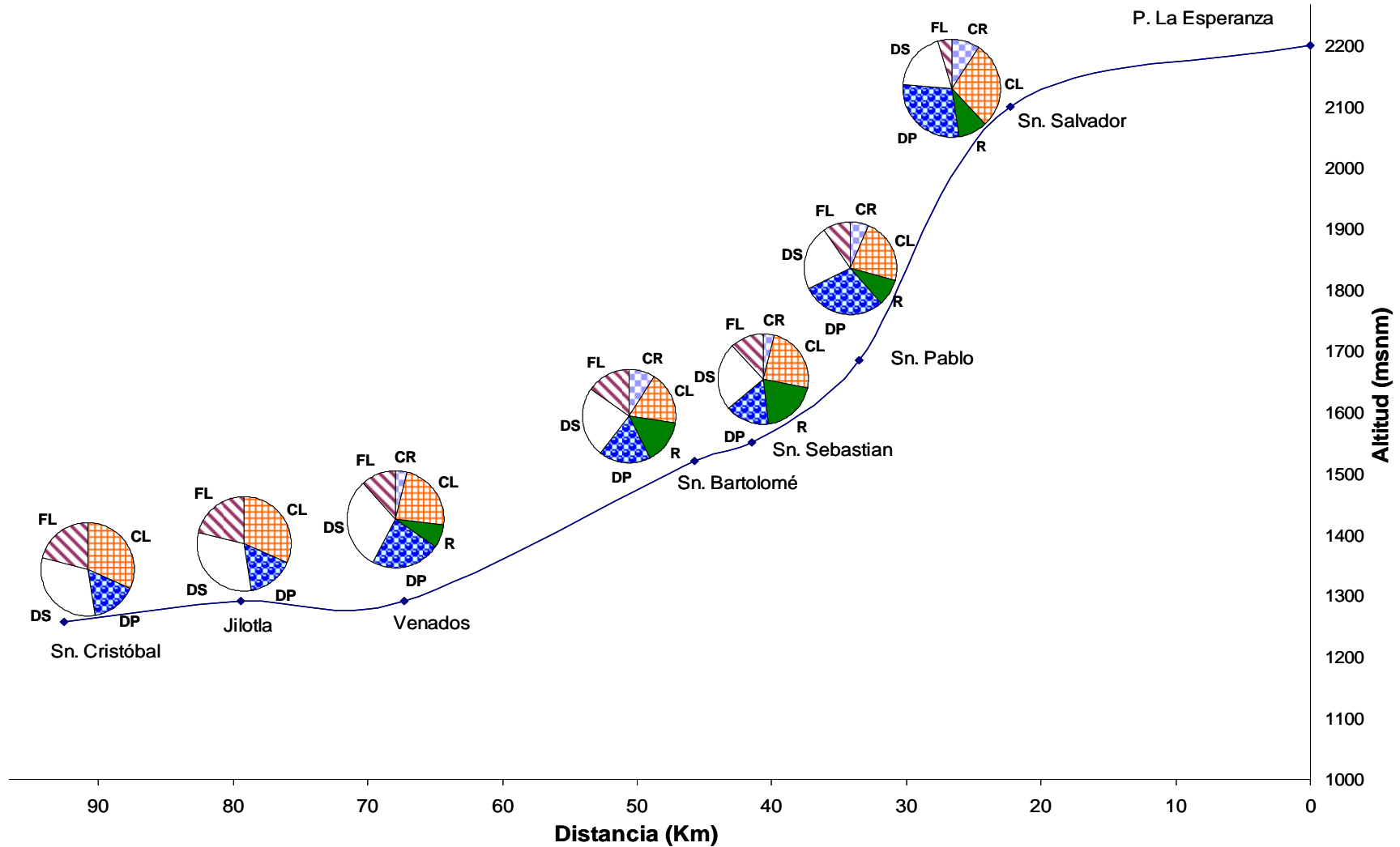


Figura 22. Categorías tróficas en la época de secas con base en la riqueza taxonómica (géneros). CR = carroñero, FL = filtrador, CL = recolector, DP = depredador, DS = desmenuzador y R = raspador.

Categorías tróficas en lluvias (noviembre)

La estructura de los grupos tróficos en función de la abundancia de organismos, en la época de lluvias (Fig. 23), se conformó por una dominancia del 100 % de filtradores en la zona alta, y del 80 % en San Pablo correspondiente a la zona media de la cuenca. Mientras que en las tres estaciones restantes, de la misma zona, dominaron los organismos recolectores.

El grupo con menor dominancia fue el de los carroñeros, con porcentajes menores a 1 %. Jilotla presentó un comportamiento similar al de la época de secas, con dominancia de filtradores (87 %), mientras que en San Cristóbal la mayor abundancia de organismos correspondió a los raspadores (93 %), contrario a la época de secas en la cual dominaban los depredadores.

En cuanto a la riqueza de *taxa* presentes en cada categoría trófica (Fig. 24), así como con la abundancia de organismos (Fig. 23) correspondientes a cada categoría trófica. En la zona alta de la cuenca los recolectores representaron el 100 % de la riqueza. Sin embargo, aunque se presentaron en la zona media de la cuenca la riqueza de este grupo disminuyó. Los filtradores, recolectores, raspadores, desmenuzadores y depredadores presentaron cerca de 19 % de la riqueza taxonómica respectivamente, en la zona media; por el contrario, los carroñeros tuvieron un porcentaje menor, cercano al 5 %. Con respecto a la zona baja de la cuenca en la estación de Jilotla dominaron los desmenuzadores (25 %), los recolectores (25 %) y los filtradores (20 %), mientras que en San Cristóbal se presentó una dominancia de depredadores y raspadores con una presencia del 50 %, respectivamente.

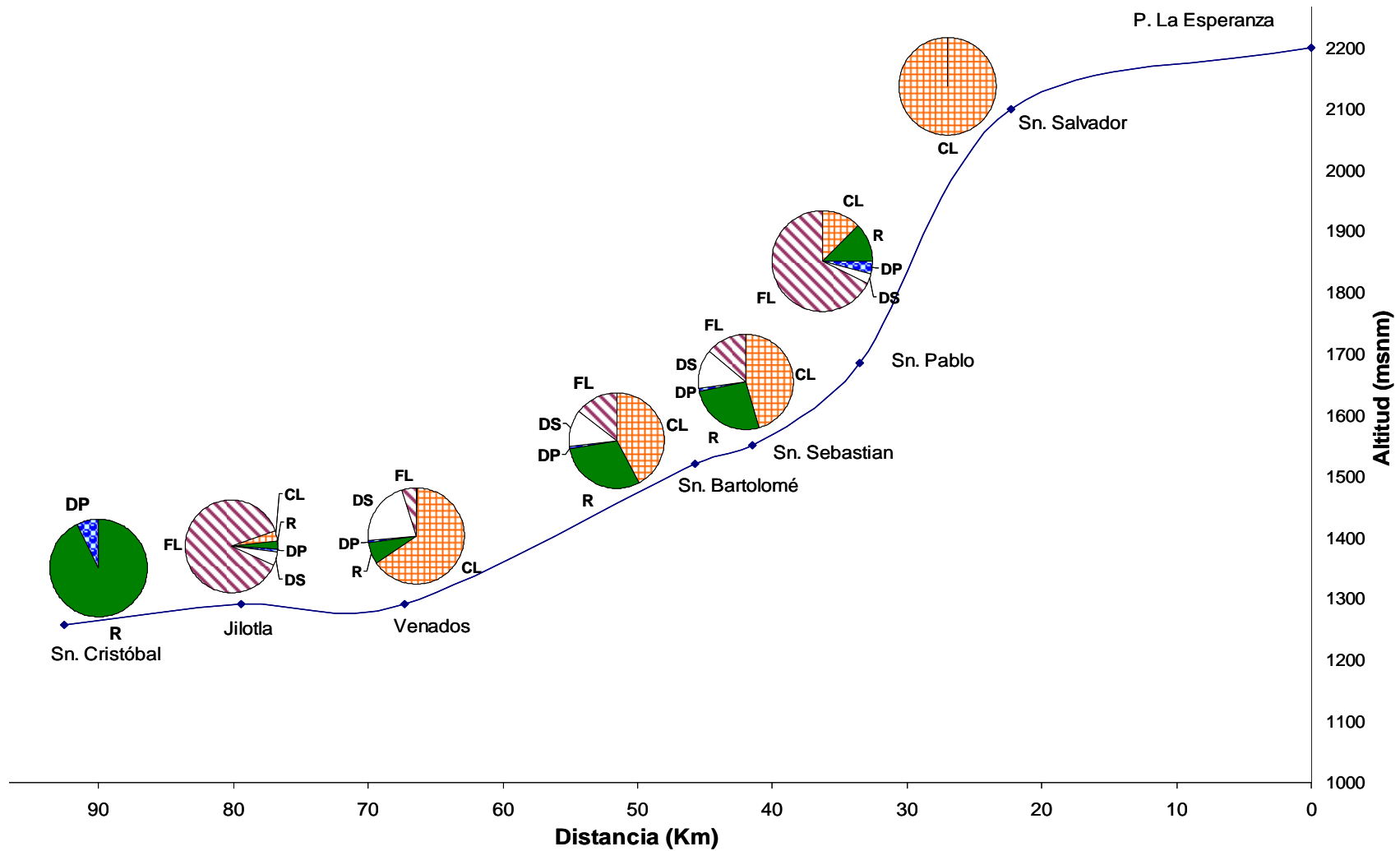


Figura 23. Categorías tróficas en la época de lluvias con base en la abundancia de organismos correspondientes a cada grupo trófico.

CR = carroñero, FL = filtrador, CL = recolector, DP = depredador, DS = desmenuzador, R = raspador.

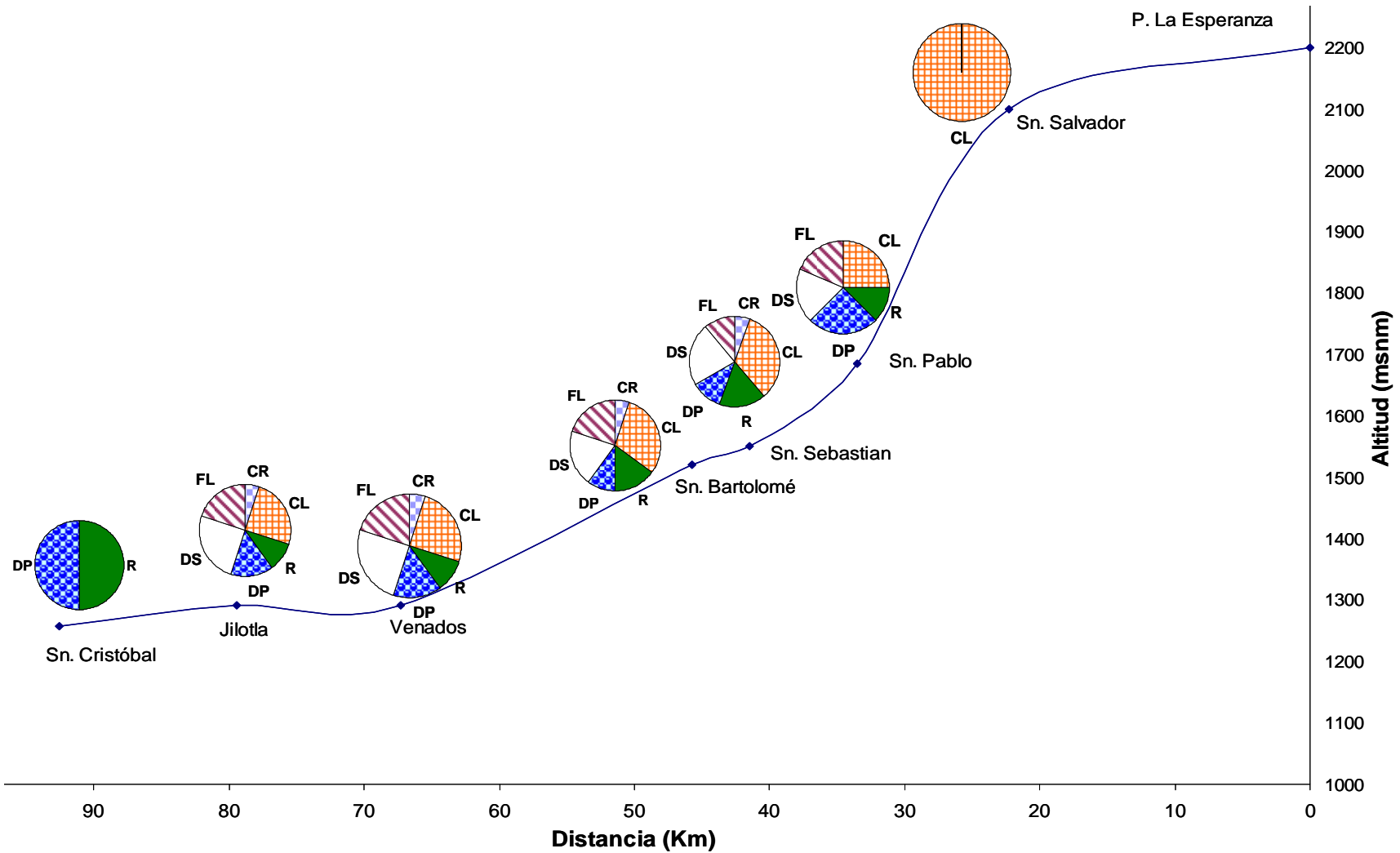


Figura 24. Categorías tróficas en la época de lluvias con base en la riqueza taxonómica (géneros). CR = carroñero, FL = filtrador, CL = recolector, DP = depredador, DS = desmenuzador, R = raspador.

Análisis multivariados

Análisis de Componentes Principales (ACP)

El ACP realizado con las variables limnológicas, explicó con los dos primeros componentes 91.57 % de la variación total explicada. El primer componente explicó 80.91 %, mientras que el segundo componente el 10.66 % de la variación total (Fig. 25). Las principales variables que determinaron el ordenamiento de los sitios de recolecta con respecto a los dos primeros componentes, fueron la temperatura y la amplitud del cauce para el primer componente, mientras que para el segundo fue la velocidad de la corriente (Cuadro 7).

Cuadro 7. Matriz factorial de las variables para los dos primeros componentes.

ACP. Variable	Eje 1	Eje 2
H ₄ ⁺	0,005	-0,043
NO ₃ ⁻	0,049	-0,044
PO ₄ ³⁻	0,022	-0,039
O ₂	0,425	-0,038
Temperatura	0,662	-0,037
Vel. de corriente	0,285	0,899
Cauce	0,532	-0,341
Profundidad	0,118	-0,259

El resultado de dicho análisis arrojó la formación de cuatro grupos (Fig. 25), de los cuales el grupo uno que corresponde al muestreo del mes de noviembre (lluvias) y se separa del resto de las estaciones, debido a que presentó gran variación en las condiciones limnológicas como la VC, amplitud del cauce, temperatura, etc., las cuales presentaron en

el resto de los muestreos, valores menores en el caso de la VC, el cauce y temperaturas mas elevadas.

El grupo dos correspondiente a la estación de San Cristóbal se caracterizó por presentar una VC de cero durante el tiempo de muestreo correspondiente para realizar la lectura, el cual contempló un tiempo de un minuto para cada lectura. El grupo 3 conjuntó los sitios de la cuenca media correspondiente al área encañonada. Finalmente el grupo 4 formado por San Salvador y Jilotla corresponden a la cuenca alta y baja respectivamente.

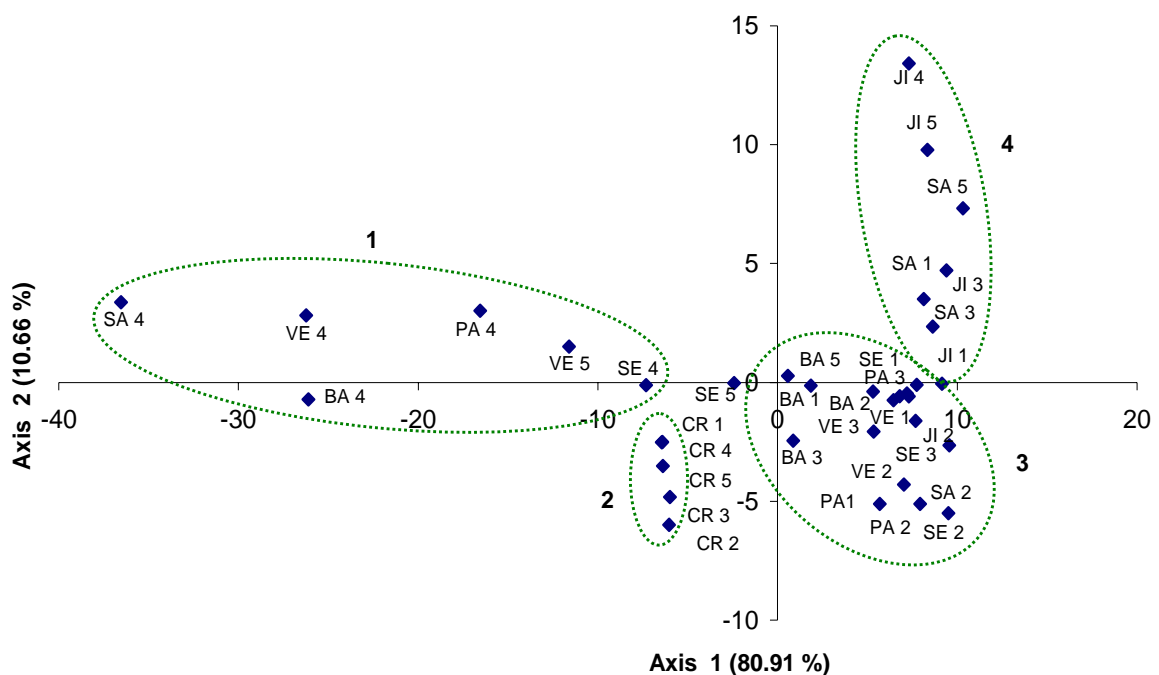


Figura 25. ACP de los sitios de recolección de acuerdo con las variables ambientales. SA = San Salvador, SE = San Sebastián, PA = San Pablo, BA = San Bartolomé, VE = Puente de Venados, JI = Jilotla y CR = San Cristóbal. El número junto a cada abreviatura corresponde al mes de muestreo: 1) enero de 2005, 2) abril, 3) julio, 4) noviembre y 5) enero de 2006.

Con respecto al análisis exploratorio, en la figura 25 se apreció la separación de las estaciones correspondientes a la época de lluvias (grupo 1), que corresponde al mes de noviembre, del resto de las estaciones correspondientes a los muestreos en que no se registro lluvia. El AD confirmó que existe una diferencia entre el cuarto muestreo (lluvias) y los muestreos restantes (Fig. 26), dicho análisis explico 63.5 % de la variación para la primera función discriminante canónica, la segunda explico 31.6 % de la variación con una $\lambda W = 0.010$, $p < 0.0001$. El análisis original clasificó correctamente 94.3 % de las variables limnológicas correspondientes a los cinco muestreos, mientras que la validación cruzada clasificó correctamente 74.3 % de los muestreos. Los mejores valores de clasificación fueron de 85.7 % para los muestreos cuatro y cinco, comparado con 57.1 % para el muestreo 3 (Cuadro 8)

Cuadro 8. Clasificación de las estaciones correspondientes a los cinco muestreos mediante análisis discriminante.

		Original					
	Muestreo	Ene. 05	Abr.	Jul.	Nov.	Ene. 06	Total
Casos	Ene. 05	7	0	0	0	0	7
	Abr.	0	6	1	0	0	7
	Jul.	0	0	7	0	0	7
	Nov.	0	0	0	7	0	7
	Ene. 06	1	0	0	0	6	7
%	Ene. 05	100	0	0	0	0	100
	Abr.	0	85.7	14.3	0	0	100
	Jul.	0	0	100	0	0	100
	Nov.	0	0	0	100	0	100
	Ene. 06	14.3	0	0	0	85.7	100

94.3 % de discriminación original

		Validación cruzada.					
	Muestreo	Ene. 05	Abr.	Jul.	Nov.	Ene. 06	Total
Casos	Ene. 05	5	1	1	0	0	7
	Abr.	0	5	2	0	0	7
	Jul.	1	2	4	0	0	7
	Nov.	0	0	0	6	1	7
	Ene. 06	1	0	0	0	6	7
%	Ene. 05	71.4	14.3	14.3	0	0	100
	Abr.	0.0	71.4	28.6	0	0	100
	Jul.	14.3	28.6	57.1	0	0	100
	Nov.	0	0	0	85.7	14.3	100
	Ene. 06	14.3	0	0	0	85.7	100

74.3 % de discriminación con validación cruzada

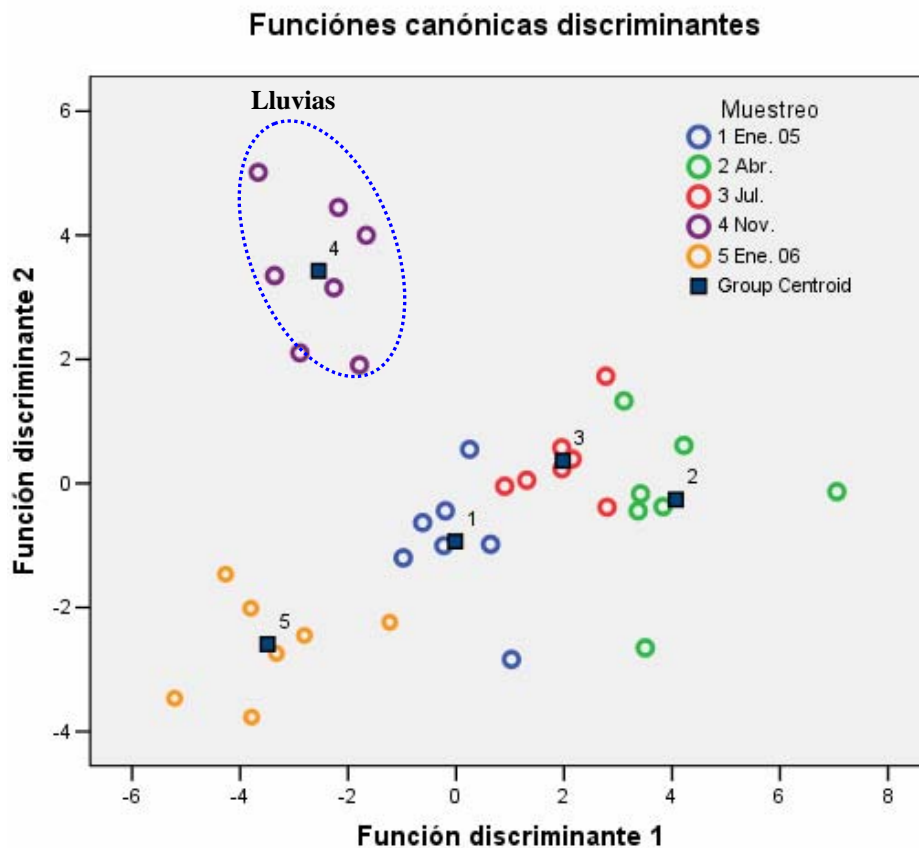


Figura 26. Clasificación de las estaciones correspondientes a los muestreos con respecto a las variables limnológicas.

Para los siete sitios de recolecta la primera función canónica del AD, explicó 78.6 % de la variación, mientras que la segunda explicó solo 14.7 % con una $\lambda W = 0.001$, $p < 0.0001$. El análisis original clasificó correctamente 68.6 % de las estaciones, mientras que la validación cruzada clasificó correctamente 45.7 %. La estación uno fue la mejor clasificada con 100 %, comparada con el 40 % que presentó la estación seis (Cuadro 9). De acuerdo al análisis discriminante las estaciones 3, 4, 5 y 6 están cercanas lo que indica que se parecen más entre ellas que con las estaciones uno y siete, estas últimas como se vio anteriormente pertenecen a las zonas alta y baja de la cuenca (Fig. 12) Sin embargo la estación dos aunque corresponde a la zona baja es más parecida a las de la zona media (Fig. 27).

Cuadro 9. Clasificación de las estaciones con base en las variables limnológicas mediante análisis discriminante.

		Original							
	Estación	1	2	3	4	5	6	7	Tot.
Casos	1	5	0	0	0	0	0	0	5
	2	0	4	0	0	0	1	0	5
	3	0	0	1	2	2	0	0	5
	4	0	0	1	3	0	1	0	5
	5	0	0	1	1	3	0	0	5
	6	0	0	1	1	0	3	0	5
	7	0	0	0	0	0	0	5	5
%	1	100	0	0	0	0	0	0	100
	2	0	80	0	0	0	20	0	100
	3	0	0	20	40	40	0	0	100
	4	0	0	20	60	0	20	0	100
	5	0	0	20	20	60	0	0	100
	6	0	0	20	20	0	60	0	100
	7	0	0	0	0	0	0	100	100

68.6 % de discriminación original

		Validación cruzada.							
	Estación	1	2	3	4	5	6	7	Tot.
Casos	1	5	0	0	0	0	0	0	5
	2	0	3	0	0	0	2	0	5
	3	0	0	0	2	2	1	0	5
	4	0	0	2	0	1	2	0	5
	5	0	0	2	1	2	0	0	5
	6	0	0	0	2	1	2	0	5
	7	0	0	1	0	0	0	4	5
%	1	100	0	0	0	0	0	0	100
	2	0	60	0	0	0	40	0	100
	3	0	0	0	40	40	20	0	100
	4	0	0	40	0	20	40	0	100
	5	0	0	40	20	40	0	0	100
	6	0	0	0	40	20	40	0	100
	7	0	0	20	0	0	0	80	100

45.7 % de discriminación con validación cruzada

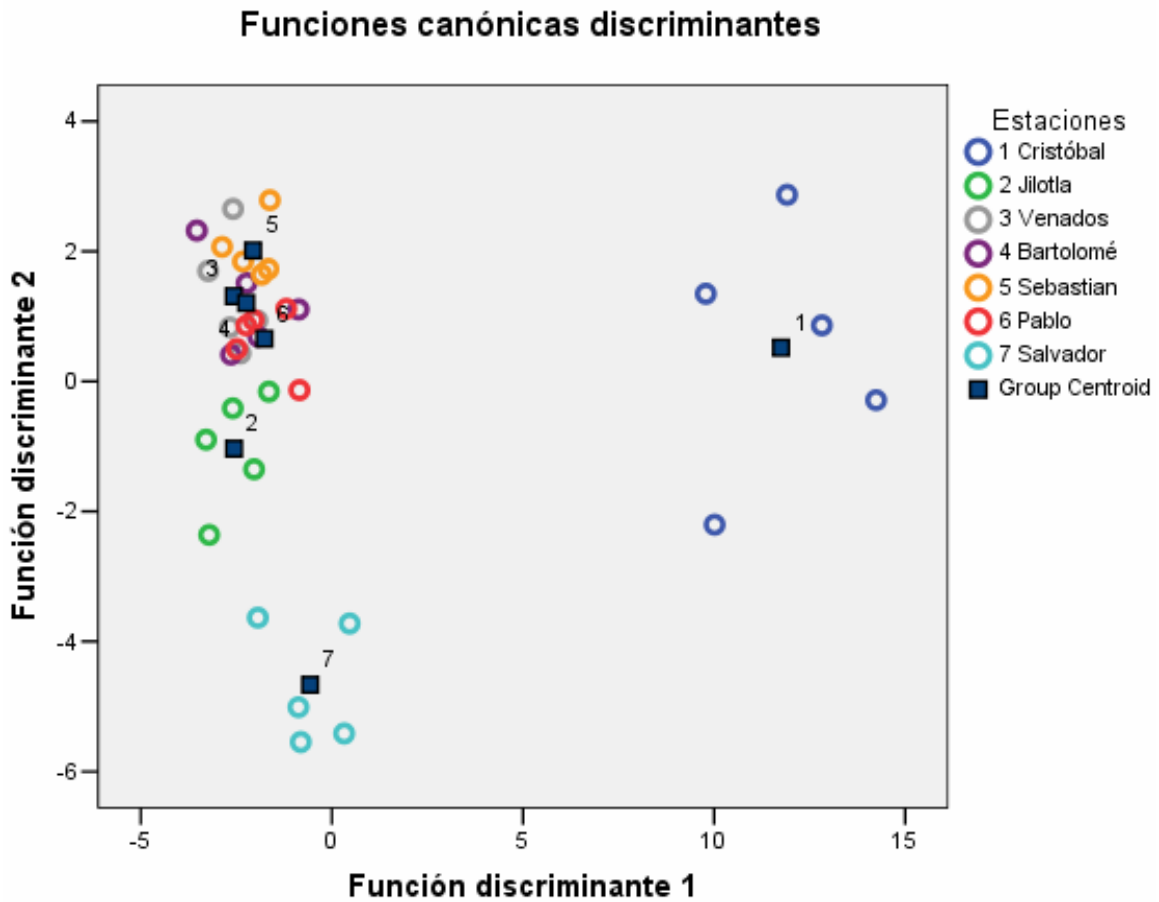


Figura 27. Clasificación de las estaciones con base en las variables limnológicas.

El ACP, basado en la matriz de presencia o ausencia de organismos de cada género, explicó el 41.90 % de variación total explicada para los dos primeros componentes. El primero explicó 32.40 %, y el segundo el 9.50 % de la variación total. La ordenación con base en la presencia-ausencia de organismos de los sitios de recolecta resultante (Fig. 28), presentó tres grupos separando las estaciones correspondientes a la cuenca media (grupo 3) y las correspondientes a la cuenca alta y baja (grupos 1, 2). Por lo tanto las estaciones presentaron una mayor similitud dentro de cada grupo de acuerdo con la presencia o ausencia de organismos, que entre grupos.

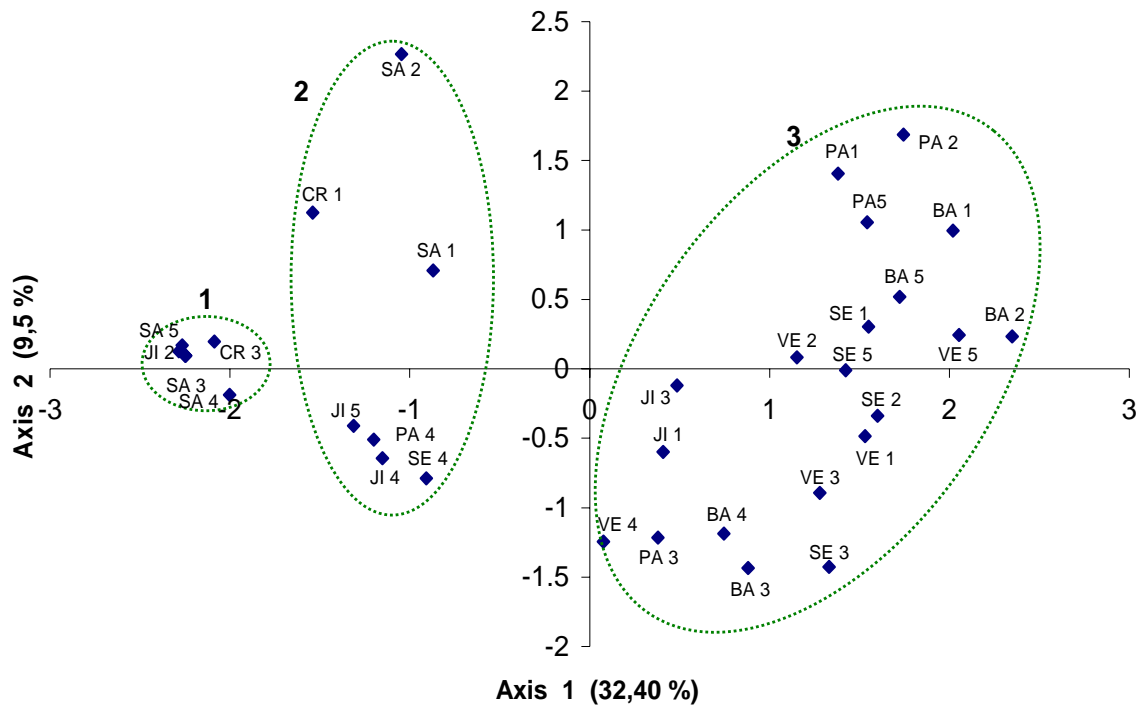


Figura 28. ACP de los sitios de recolecta de acuerdo con la presencia-ausencia de organismos. SA = San Salvador, SE = San Sebastián, PA = San Pablo, BA = San Bartolomé, VE = Puente de Venados, JI = Jilotla y CR = San Cristóbal. El numero junto a cada abreviatura corresponde al mes de muestreo: 1) enero de 2005, 2) abril, 3) julio, 4) noviembre y 5) enero de 2006.

Con respecto a la presencia o ausencia de organismos el análisis multivariado ordenó las estaciones formando tres grupos dos de los cuales corresponden a las zonas alta y baja de la cuenca (Grupos, 1 y 2), un tercer grupo lo conformaron las correspondientes a la zona media (Fig. 28). La ordenación resultante del análisis discriminante, sugiere que las estaciones correspondientes a las zonas alta y baja presentaron una riqueza taxonómica que difiere de la presente en las estaciones correspondientes a la zona media. Es decir las estaciones 7, 1 y 2 son más parecidas entre ellas que con el resto de las estaciones (Fig. 29), las cuales corresponden a las zonas marcadas en la figura 26, alta (7), media (6,5,4y 3) y baja (2 y 1). Sin embargo la separación de los centroides sugiere que aun dentro de la

zona media de la cuenca se presenta una zonificación. La formación de estos grupos de estaciones se validó mediante un análisis discriminante, del cual la primera función canónica explicó 74.5 %, mientras que la segunda explicó 20 %, de la variación de los organismos correspondientes a las siete estaciones, con una $\lambda W = 0.000$, $p < 0.0001$. El análisis discriminante original clasificó correctamente 94.1 % de las estaciones. La validación cruzada clasificó 32.4 % de las estaciones (Cuadro 10).

Cuadro 10. Clasificación de las estaciones con base en la presencia y ausencia de organismos mediante análisis discriminante.

		Original							
	Estación	1	2	3	4	5	6	7	Total
Casos	1	5	0	0	0	0	0	0	5
	2	1	4	0	0	0	0	0	5
	3	0	0	5	0	0	0	0	5
	4	0	0	0	5	0	0	0	5
	5	0	0	0	0	5	0	0	5
	6	0	0	0	0	0	4	0	4
	7	1	0	0	0	0	0	4	5
%	1	100	0	0	0	0	0	0	100
	2	20	80	0	0	0	0	0	100
	3	0	0	100	0	0	0	0	100
	4	0	0	0	100	0	0	0	100
	5	0	0	0	0	100	0	0	100
	6	0	0	0	0	0	100	0	100
	7	20	0	0	0	0	0	80	100

94.1 % de discriminación original

		Validación cruzada							
	Estación	1	2	3	4	5	6	7	Total
Casos	1	4	0	1	0	0	0	0	5
	2	1	1	2	1	0	0	0	5
	3	0	1	1	1	1	0	1	5
	4	0	0	3	1	0	1	0	5
	5	0	0	0	1	1	2	1	5
	6	0	0	2	0	0	1	1	4
	7	1	0	0	0	1	1	2	5
%	1	80	0	20	0	0	0	0	100
	2	20	20	40	20	0	0	0	100
	3	0	20	20	20	20	0	20	100
	4	0	0	60	20	0	20	0	100
	5	0	0	0	20	20	40	20	100
	6	0	0	50	0	0	25	25	100
	7	20	0	0	0	20	20	40	100

32.4 % de discriminación con validación cruzada

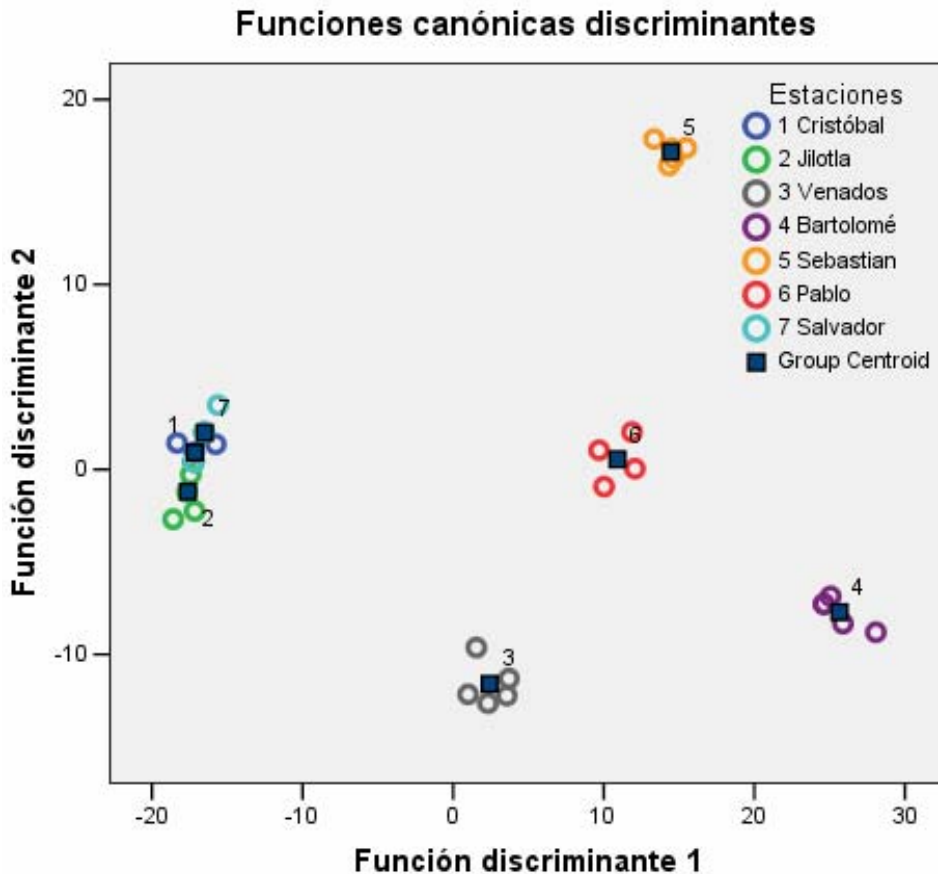


Figura 29. Ordenación de las estaciones con base en la presencia y ausencia de organismos mediante un análisis discriminante.

De igual forma se caracterizó la cuenca en tres zonas con respecto a la abundancia de organismos presentes en las estaciones de recolecta (Cuadro 17). De acuerdo al resultado del análisis discriminante existe un mayor parecido entre las zonas alta y baja, mientras que la zona media presentó mayor diferencia con las zonas alta y baja (Fig. 30). El análisis original clasificó correctamente 97.1 % las zonas de la cuenca, mientras que la validación cruzada solamente clasificó 57.1 %. La primer función canónica explicó 96.9 % de la variación, mientras que la segunda explicó 3.1 % ($\lambda W = 0.004$, $p < 0.002$) de la variación explicada del ordenamiento de los sitios de recolecta correspondientes a las tres zonas (Cuadro 11).

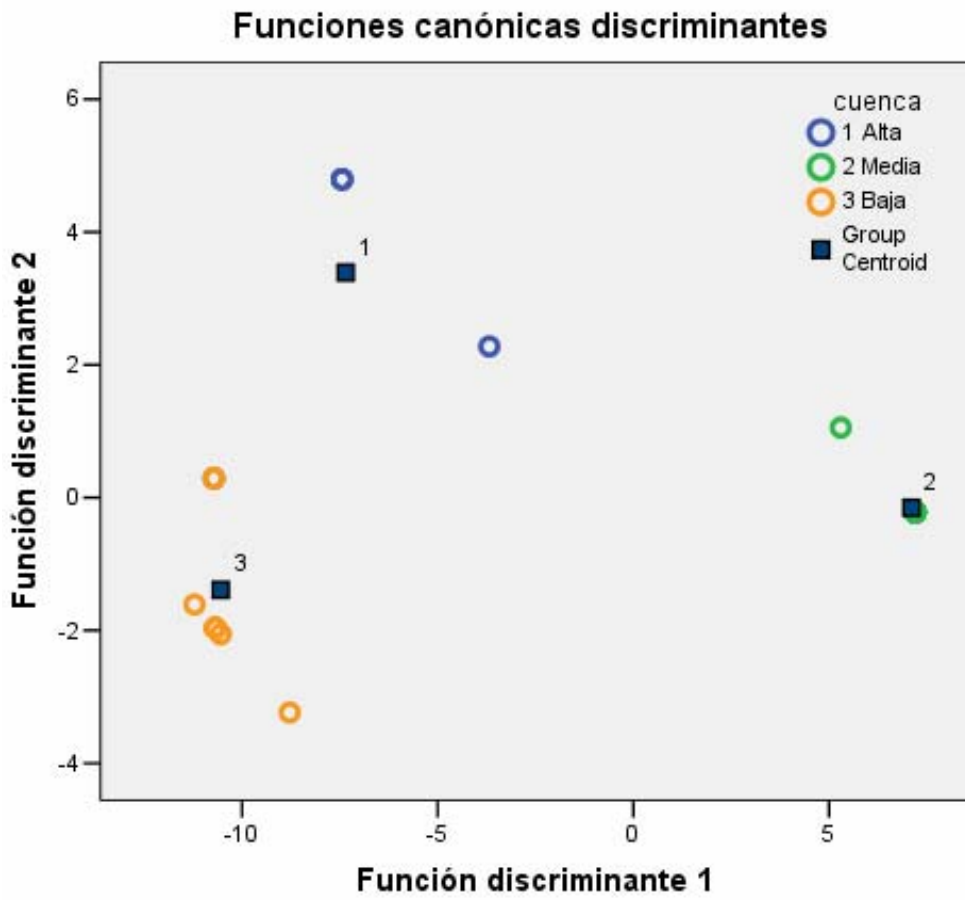


Figura 30. Clasificación de las zonas de la cuenca con base en la abundancia de organismos mediante un análisis discriminante.

Cuadro 11 Clasificación de la cuenca con base en la abundancia de organismos mediante análisis discriminante.

		Original			
		Alta	Media	Baja	Total
Casos	Alta	4	0	1	5
	Media	0	20	0	20
	Baja	0	0	10	10
%	Alta	80	0	20	100
	Media	0	100	0	100
	Baja	0	0	100	100

97.1 % de discriminación original

		Validación cruzada.			
		Alta	Media	Baja	Total
Casos	Alta	1	3	1	5
	Media	5	11	4	20
	Baja	1	1	8	10
%	Alta	20	60	20	100
	Media	25	55	20	100
	Baja	10	10	80	100

57.1 % de discriminación con validación cruzada

Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

El ACC mostró que en los dos primeros componentes se obtuvo 72.52 % de la variación explicada, el primer componente explica el mayor porcentaje de variación mientras que el segundo componente explica el menor porcentaje de la variación explicada (Cuadro 12). Los parámetros con mayor influencia en la ordenación y distribución de los sitios fueron, para el primer componente los ortofosfatos, mientras que para el segundo

componente correspondió a los nitratos y la velocidad de la corriente, además existen otras variables que influyen en la distribución aunque en menor proporción, como la profundidad, el oxígeno disuelto y la temperatura (Cuadro 13).

Cuadro 12. Eigenvalores y proporción de la variación explicada de los dos primeros componentes.

	Eje 1	Eje 2
Eigenvalores	0.007	0.002
Porcentaje	55.652	16.874
Porcentaje acumulado	55.652	72.526

Cuadro 13. Coeficientes canónicos de los dos primeros componentes.

Con una variación explicada de 72.52 %.

ACC. Variable	Eje 1	Eje 2
NH ₄ ⁺	0,101	0,271
NO ₃ ⁻	0,107	-0,92
PO ₄ ³⁻	0,608	0,191
O ₂	-0,484	0,101
Temperatura	-0,367	0,102
Vel. de corriente	0,124	0,527
Cauce	0,177	-0,019
Profundidad	0,495	0,413

La ordenación de los sitios de recolecta (Fig. 31), tomando en cuenta la matriz ambiental y la biológica, dió como resultado la separación de los sitios en dos grupos, el grupo 1 correspondiente a las zonas alta y baja y el grupo 2 correspondiente a la zona media de la cuenca, principalmente por los nutrientes para el grupo uno, y por la velocidad de la corriente y la temperatura para el grupo dos.

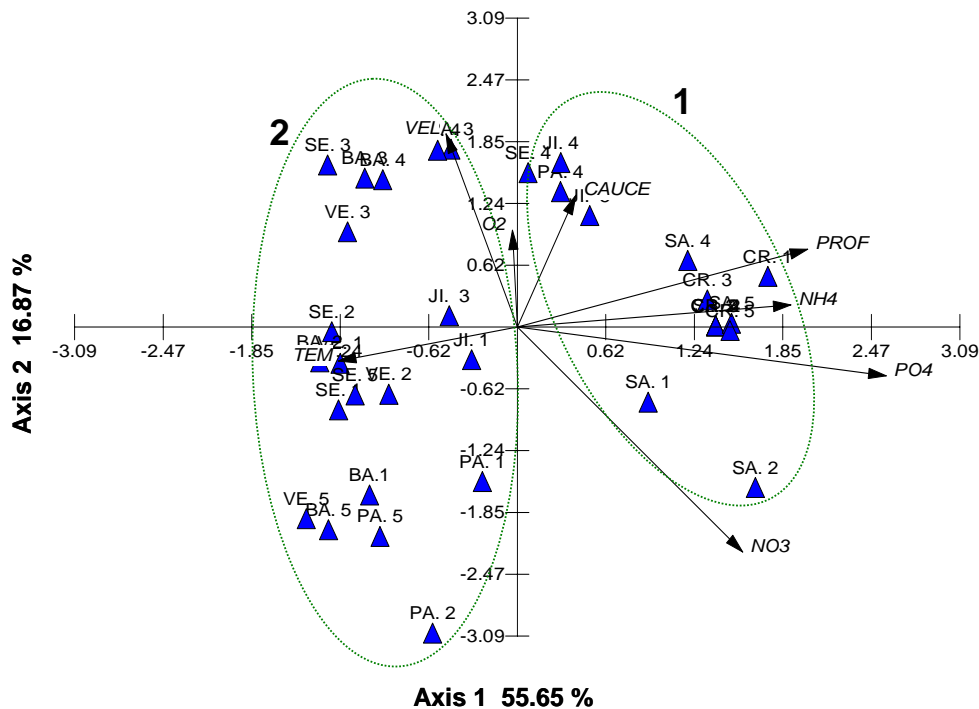


Figura 31. Ordenamiento empleando ACC de los sitios de recolecta. SA = San Salvador, SE = San Sebastián, PA = San Pablo, BA = San Bartolomé, VE = Puente de Venados, JI = Jilotla y CR = San Cristóbal. Mes de muestreo: 1) enero de 2005, 2) abril, 3) julio, 4) noviembre y 5) enero de 2006. Variable: Tem. = temperatura, Vel. = velocidad de la corriente, Prof. = profundidad, O_2 = Oxígeno disuelto, PO_4 = ortofosfatos, NO_3 = nitratos y NH_4 = amonio.

La ordenación de los géneros de la entomofauna acuática, presentes en los sitios de recolecta tomando en cuenta la matriz ambiental y la biológica (Fig. 32), mostró la

asociación existente de diversos parámetros limnológicos sobre los organismos. El mayor número de géneros presentaron una correlación positiva con la temperatura y la velocidad de la corriente, a su vez éstos géneros presentaron una correlación negativa con la profundidad y los nutrientes (Fig. 32), aunque no se determinó la calidad del sustrato, este juega un papel importante en la distribución y diversidad de los insectos (Pérez y Segnini, 2005). Los géneros, *Simulium* y *Chrysops* (Diptera) presentaron una asociación positiva con los ortofosfatos y el amonio respectivamente (Fig. 32), de los cuales la mayor concentración se registró en las zonas alta y baja de la cuenca (Cuadro 3), por el contrario *Rhantus*, *Berosus*, *Clinocera*, *Entomobrya*, *Ironodes*, etc., presentaron una asociación positiva con la temperatura y negativa con la profundidad, los ortofosfatos y el amonio (Fig. 32).

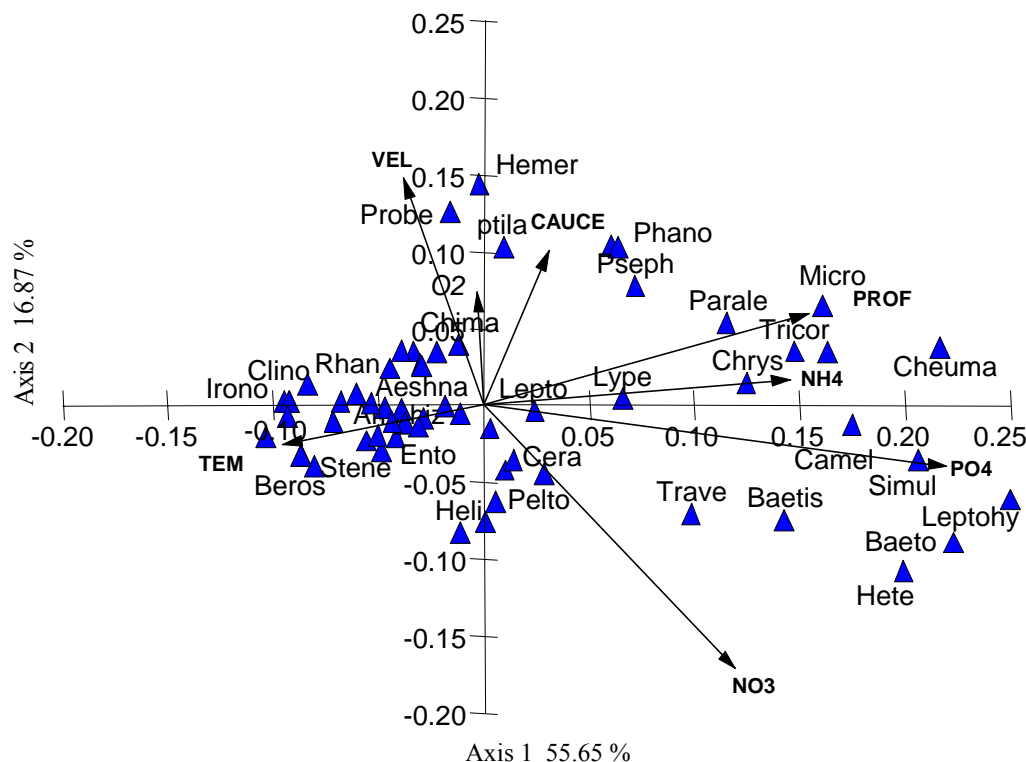


Figura 32. Ordenamiento de los grupos taxonómicos empleando ACC. Las abreviaturas corresponden a los géneros de la entomofauna acuática (Cuadro 6).

Bioindicadores

En el cauce principal de la cuenca del Río Metztlán se registraron diversos organismos que de acuerdo con Hellowell (1986) y Hilsenhoff (1987; 1988), son utilizados como bioindicadores de la calidad del agua (Cuadro 14). El resultado que se obtuvo indica la existencia de organismos moderadamente tolerantes y un mayor número de intolerantes a la contaminación orgánica, localizados en la zona media de la cuenca, la cual correspondería a una zona con una baja contaminación orgánica (Hilsenhoff, 1988). Las zonas alta y Baja de la cuenca, presentaron un mayor número de organismos correspondientes a géneros insensibles y tolerantes, por lo que correspondería a un área con contaminación orgánica alta.

Cuadro 14. Grado de tolerancia a la contaminación orgánica de algunos organismos en la cuenca de l río Metztlán de acuerdo con Hellowell, (1986). Cuenca: A = alta, M = media y B = baja. En negritas se destaca la zona en que se encontró la mayor abundancia.

Insensibles	Tolerantes	Moderadamente tolerantes	Intolerantes
<i>Berosus</i> (A)	<i>Hydropsyche</i> (M, B)	<i>Baetis</i> (A, M, B)	<i>Baetis</i> (A, M, B)
<i>Tabanus</i> (B)	<i>Baetis</i> (A, M, B)	<i>Argia</i> (M)	<i>Paraleptophlebia</i> (M)
		<i>Libellula</i> (A, M, B)	<i>Agraylea</i> (M, B)
		<i>Cheumatopsyche</i> (A, M, B)	<i>Hydropsyche</i> (M, B)
		<i>Hydropsyche</i> (M, B)	<i>Hetaerina</i> (M)
		<i>Odontomyia</i> (M)	<i>Microcylloepus</i> (A, M, B)
		<i>Simulium</i> (A, M, B)	<i>Stenelmis</i> (B)
		<i>Probezzia</i> (A, M, B)	<i>Corydalus</i> (M, B)
			<i>Petrophila</i> (A, M, B)
			<i>Parapoinx</i> (M, B)
			<i>Chimarra</i> (M)
			<i>Hydroptila</i> (A, M, B)
			<i>Neureclipsis</i> (M)

Discusión

La cuenca del río Metztitlán es un caso representativo de una cuenca que se origina en el Altiplano Mexicano y su carácter endorreico hace que la porción baja de la cuenca se encuentre a 1329 msnm. Ésta cuenca caracterizada por presentar tres zonas, que corresponden a una planicie en la porción alta, pendientes pronunciadas en la intermedia y planicies en la baja, las cuales corresponden con las planteadas por Tamayo (1962), quien mencionó que el relieve mexicano determina que los ríos en general sean de longitud corta, cuenca reducida y pendientes pronunciadas.

En Metztitlán, las zonas alta y baja presentan planicies con distritos agrícolas de manejo intensivo, lo cual se refleja en mayores transformaciones ambientales mientras que en la porción intermedia, se observó que existe una escasa presencia humana, y además presentó menor grado de transformación de las condiciones edáficas y físico-químicas.

La porción alta y baja de la cuenca se caracterizaron por presentar una baja heterogeneidad del hábitat, la zona alta presentó sustrato rocoso con ausencia de sedimentos, mientras que la zona baja presentó sedimento de tipo arcilloso. No obstante que la heterogeneidad no se midió, de acuerdo con Statzner y colaboradores (1988), un hábitat acuático heterogéneo presenta arena, gravas y cantos rodados de tamaño diverso. El tipo de sustrato y la heterogeneidad del mismo presentan gran influencia sobre la distribución y abundancia de los macroinvertebrados y entomofauna acuática, ya que permiten un mayor número de microhabitats los cuales a su vez permiten la existencia de mayor riqueza taxonómica (Williams, 1980; MacFarlane, 1983; Minshall, 1984; Covich *et al.*, 1999).

Hidrología

Estacionalmente, las mayores concentraciones de nutrientes se registraron en las zonas alta y baja de la cuenca, mientras que en la zona media se registraron las menores. El amonio (NH_4^+) presentó la mayor concentración en San Cristóbal, con un valor máximo de 0.2 mg/L, en la época de secas; los nitritos (NO_2^-) presentaron la mayor concentración en la zona alta (0.1 mg/L) y baja (0.09 mg/L) de la cuenca en secas, mientras que en lluvias la concentración más alta se registró en San Cristóbal (0.06 mg/L). Tales concentraciones de acuerdo con la SEDUE (1989) y la CNA (2003), sobrepasan los límites permisibles para la conservación de la vida acuática. En el resto de las estaciones, en ambas épocas las concentraciones registradas no rebasaron los límites máximos para la conservación de la vida acuática. Los nitratos se encontraron por debajo del límite permisible durante todo el ciclo de muestreo.

El oxígeno presentó las menores concentraciones en San Salvador (1.95 mg/L) y Jilotla (3.5 mg/L) durante la época de secas, las cuales se encuentran por debajo de los límites permisibles para la vida acuática, mientras que en lluvias solamente San Salvador (4.66 mg/L), que se encontró dentro de los límites mínimos permisibles para la conservación de la vida acuática de acuerdo con la SEDUE (1989) y la CNA (2003). El resto de las estaciones presentaron concentraciones por arriba del límite mínimo requerido para la conservación de la vida acuática.

La temperatura presentó una gran asociación con un gran número de géneros (Fig. 32), lo cual coincide con lo mencionado por Ward (1992) y Angelier (2002) Además, Melo y Froehlich (2001) aseveran que la variación de la temperatura desde la cabecera hasta la

parte baja del río es la causa principal del patrón de riqueza a lo largo de la cuenca del río Metztitlán.

Temporalmente las variables físicas como: la amplitud del cauce, la velocidad de la corriente y la temperatura presentaron diferencias significativas $p < 0.05$ entre las épocas de secas y lluvias, por el contrario la profundidad no presentó diferencias. En cuanto a las variables químicas, los nitratos, nitritos, ortofosfatos y el oxígeno disuelto presentaron diferencias significativas con una $p < 0.05$ entre ambas épocas, mientras que el amonio no presentó diferencias con una significancia de 0.34; $p < 0.05$.

La estructura física que conforma el fondo del cauce en las diferentes zonas de la cuenca, influyó en la estructura de la comunidad y en la distribución de los organismos, cada vez que conforme aumenta la complejidad del sustrato favorece una mayor riqueza de insectos acuáticos, ya que la variación de las rocas, gravas y arenas presentes en la zona media dan como resultado una mayor variedad de hábitats (Malavoi y Souchon, 2002).

Riqueza y abundancia taxonómica

La mayor riqueza taxonómica de géneros durante el ciclo de muestreo se registró en la zona media de la cuenca, ésta se obtuvo mediante la suma de los géneros presentes en cada estación a lo largo de la cuenca, presentándose la mayor riqueza en los meses de enero y abril de 2005 con 138 y 116 géneros respectivamente en secas, por el contrario

noviembre, que corresponde a la época de lluvias presentó la menor riqueza con 48 géneros, presentando la mayor riqueza la zona media del cauce principal (Fig. 13).

La menor abundancia de organismos y riqueza de taxones en la época de lluvias aparentemente fue el resultado de un fenómeno natural atípico, el huracán Stan, ocurrido pocos días antes del muestreo. En consecuencia, se presentó una fuerte variación de las condiciones limnológicas lo que causó un aumento de la velocidad de la corriente y disminución de la temperatura (Cuadro 4). Dichas variables son de las principales que afectan la distribución y abundancia de los organismos acuáticos (Margalef, 1986; Ward, 1992; Angelier, 2002). Por el contrario Strayer y colaboradores (1997), menciona que las variables físico-químicas afectan la distribución de los invertebrados sólo si se acercan a los límites de tolerancia de la fauna.

Por lo tanto la variación de la abundancia como de la riqueza taxonómica fueron debidas muy probablemente al régimen hídrico propio del sistema así como la precipitación pluvial, la cual regula la comunidad de macroinvertebrados debido a que ésta puede variar año con año (Llorente *et al.*, 1996) puesto que un aumento repentino del flujo de agua conlleva un arrastre de los organismos (Hurtado *et al.*, 2005), quedando sólo los organismos que estaban refugiados durante la crecida (Power *et al.*, 1988). La precipitación pluvial influye de forma directa ya que los insectos son arrastrados por la corriente (Arauz *et al.*, 2000) y de forma indirecta debido a la influencia sobre el comportamiento de las variables químicas del agua (Rincón, 2003). Sin embargo la rápida recuperación de la comunidad de insectos acuáticos es debida a la capacidad de resiliencia (capacidad del sistema para retornar a condiciones anteriores) del sistema (Gutiérrez-

Yurrita, 2000; Hurtado *et al.*, 2005), la cual en el área de estudio es elevada puesto que la comunidad de insectos acuáticos se recuperó rápidamente de noviembre de 2005 a enero de 2006 en los cuales se registraron 48 y 91 géneros respectivamente, aumentando cerca del 100 % de un muestreo a otro, al igual que la abundancia la cual presentó 2,967 organismos en noviembre y 4,381 organismos en enero de 2006. No obstante que no se realizó el muestreo durante los días de mayor impacto de la precipitación pluvial, durante los cuales probablemente la crecida en el flujo del río arrastro todos los organismos ya que se apreció una modificación total del cauce en la zona media de la cuenca.

San Salvador (zona alta), Jilotla y San Cristóbal (zona baja) presentaron un descenso en la totalidad de la riqueza de géneros de insectos acuáticos con 24, 27 y 13 géneros respectivamente. No obstante que San Cristóbal presentó la mayor concentración de OD, las condiciones no son favorables para la existencia de una elevada riqueza de géneros debido a la proliferación de algas filamentosas, que dan una coloración verdosa al agua, evitando el paso de la luz y disminuyendo el oxígeno drásticamente durante la noche, favoreciendo especies capaces de soportar bajas concentraciones (Cao *et al.*, 1997)

La comunidad de insectos acuáticos en la zona media de la cuenca presentó la máxima riqueza obteniendo la mayor en San Bartolomé con 39 géneros, mientras que Venados presentó la mínima, con 31 géneros. Ésta última estación se localiza en la parte final de la cuenca media e inicio de la cuenca baja. Los órdenes mejor representados en esta zona corresponden a efemerópteros, tricópteros y dípteros, característicos de sistemas de aguas limpias (Worf, 1980). La mayor riqueza de géneros en esta zona se debió muy probablemente a que ésta zona se caracterizó por presentar menor concentración de

nutrientes, aunado a condiciones físicas favorables como flujo continuo de la masa de agua, turbulencia, aumentó de oxígeno disuelto, mayor heterogeneidad del hábitat debido a la existencia de sustratos rocosos de variados tamaños, lo cual en su totalidad favorece un incremento de la diversidad (Williams, 1980; Statzner *et al.*, 1988; Allan, 1995; Pérez y Segnini, 2005).

Categorías tróficas

El comportamiento espacial de las categorías tróficas a lo largo de la cuenca, considerando la abundancia de organismos correspondientes a cada grupo, evidenció que en la zona media existe una mayor proporción de colectores, raspadores y desmenuzadores. En la zona alta dominaron los raspadores y carroñeros, mientras que en la zona baja, en Jilotla, dominaron los filtradores por la abundancia del género *Simulium*, individuos que soportan corrientes fuertes (Angelier, 2002), característica constante durante el ciclo en esta estación, la cual tuvo el mayor registro de velocidad de corriente de 17.33 m/s. Por el contrario, en San Cristóbal dominaron los depredadores y hubo ausencia de filtradores; esta estación se caracterizó por presentar una VC nula, mayor profundidad y la más alta concentración de oxígeno disuelto lo cual muy probablemente se debió a la elevada concentración de productores primarios (Müller y Weise, 1987; Livingstone, 1991).

El comportamiento en la dominancia de los grupos tróficos en las tres zonas de la cuenca (alta, media y baja) en la época de secas, en consideración con la abundancia de organismos, presentó dominancia de organismos raspadores en la zona alta, mientras que en la zona media dominaron los recolectores y aumentó la abundancia de los

desmenuzadores en comparación con las zonas alta y baja. Finalmente, en la zona baja dominaron dos grupos tróficos, por una parte los organismos filtradores en Jilotla, mientras que los depredadores dominaron en San Cristóbal.

No obstante mostrar una gran variación en la abundancia de organismos correspondientes a cada grupo trófico, la riqueza taxonómica fue similar a lo largo de la cuenca, aunque ésta disminuyó en la zona baja de la cuenca, en la cual se registraron cuatro categorías tróficas, mientras que en la zona alta y media existieron seis categorías.

La época de lluvias presentó una disminución de la abundancia de individuos, al igual que los grupos tróficos los cuales se vieron disminuidos en las zonas alta y baja, en las que se tenían seis y cinco grupos tróficos en secas, mientras que en lluvias se tuvieron uno y dos grupos respectivamente, no así en la cuenca media en la cual la riqueza de *taxa* fue igual a la de la época de secas. El patrón anterior pudo deberse al aumento del flujo de agua en la época de lluvias, lo cual coincide con lo mencionado por Hendricks y colaboradores (1995); Angradi (1997); Arauz y colaboradores (2000) y Hurtado y colaboradores (2005). Lo que se observó en San Salvador sitio en el cual las categorías tróficas disminuyeron de seis grupos en secas a un grupo trófico en lluvias, este último corresponde a organismos colectores (100 %), mientras que en San Pablo se presentaron los mismos grupos tróficos cambió notablemente la dominancia, en secas se tuvo colectores con 35 % y raspadores con 40 %, por el contrario en lluvias se presentaron filtradores con 75 %. En San Cristóbal en secas dominaron los organismos depredadores con 75 % y en lluvias dominaron los raspadores con 90 %.

Para puntualizar las diferencias temporales con respecto a las categorías tróficas fue determinante considerar la abundancia de los organismos correspondientes a cada categoría. Además, esta variación se vió mejor representada en la zona alta y baja de la cuenca en las cuales la dominancia de las categorías tróficas difirió en secas (Fig. 21) y lluvias (Fig. 22).

Asimismo al considerar la riqueza de *taxa* la variación de las categorías tróficas fue más evidente en la zona alta y baja de la cuenca, las cuales presentaron una disminución de la riqueza taxonómica en la época de lluvias (Fig. 20). La mayor riqueza taxonómica en la cuenca media se debió probablemente al tipo de sustrato existente en los sitios de recolecta, el cual presentó mayor heterogeneidad, al igual que una mayor diversidad de hábitats (MacFarlane, 1983; Statzner, 1988; Allan, 1995).

La distribución de las categorías o grupos tróficos que se presentó en la cuenca durante el ciclo de muestreo correspondió con lo propuesto por Vannote y colaboradores (1980) y Cummins (1975), los cuales mencionan que en la cabecera de los ríos dominan organismos raspadores colectores y desmenuzadores. Mientras que en la zona media dominan, colectores y raspadores. Por el contrario en la zona baja dominan los colectores. Comportamiento que se presentó en la cuenca de Metztitlán. Así mismo los depredadores se presentaron a lo largo de la cuenca en proporciones bajas, tanto en lluvias como en secas (Fig. 19).

Análisis multivariado

De acuerdo al ACP, la temperatura y la velocidad de la corriente son dos de las principales variables con que se asocia ésta distribución (Cuadro 7), lo cual coincide por lo mencionado por Williams (1980); Statzner y colaboradores (1988); Allan (1995). Dicho análisis dió como resultado la separación de las épocas, agrupando por un lado los sitios de recolecta correspondientes a la época de lluvias, mientras que los sitios correspondientes a la época de secas quedaron aparte formando tres grupos, uno de los cuales agrupa a las estaciones de la zona media y los dos restantes a las correspondientes a la zona baja y alta (Fig. 25). Éstas últimas de acuerdo con la SEDUE (1989), presentaron condiciones menos propicias necesarias para el desarrollo de la vida acuática como: concentraciones bajas de oxígeno, nutrientes por encima del límite permitido. Por el contrario la zona media presentó mejores condiciones (Cuadros 2 y 3) que en conjunto con la heterogeneidad del hábitat favorecen una mayor riqueza taxonómica, puesto que la granulometría es un factor esencial que determina la distribución de la fauna en el medio hiporreico (Angelier, 2002).

El mismo análisis se realizó para el ordenamiento de los sitios de recolecta mediante la asociación con la presencia o ausencia de géneros, dando como resultado la separación de las estaciones de la porción alta y baja (dos grupos), de las estaciones correspondientes a la zona media de la cuenca. Al considerar las variables que presentaron mayor correlación en la ordenación de los sitios de recolecta (Cuadro 7), podemos apreciar que las principales variables que influyen en la distribución de la entomofauna acuática son la temperatura y la velocidad de la corriente, lo cual coincide con lo mencionado por Williams (1980); Statzner y colaboradores (1988); Allan (1995); Arauz y colaboradores (2000) y Pérez y Segnini (2005). Esto se reflejó con la presencia de una mayor riqueza de

géneros en la zona media que en las zonas alta y baja de la cuenca, el aumento de la riqueza de géneros en la zona media sugiere se presentan mejores condiciones de las variables limnológicas (Zuccarro y Bulla, 1985; Margalef, 1986).

De igual forma que el ACP, el análisis de correspondencia canónica (ACC), presentó una separación de los sitios de recolecta en dos grupos el primero que agrupa a las estaciones de la porción alta y baja de la cuenca y el segundo a las estaciones de la cuenca media. Las variables que presentaron mayor asociación determinan la separación del primer grupo son los nutrientes (nitratos, amonio y ortofosfatos), para el segundo grupo principalmente por la temperatura, la velocidad de la corriente (Fig. 31). Además se aprecia que el mayor número de géneros están influenciados por la temperatura coincidiendo con lo señalado por Melo y Froehlich (2001), éste grupo de géneros corresponden a las estaciones localizadas en la zona media de la cuenca (Fig. 31). Las cuales también presentaron concentraciones aceptables de nutrientes y oxígeno, requeridos para la conservación de la vida acuática, (SEDUE, 1989; CNA, 2003).

Bioindicadores

No obstante que no se obtuvieron datos concretos con respecto a los organismos bioindicadores se registraron un mayor número de géneros correspondientes a zonas de aguas con baja contaminación orgánica en los sitios de muestreo de la parte media de la cuenca, lo que coincide con las menores concentraciones de nutrientes y las mayores de oxígeno disuelto, aunado a la mayor riqueza y abundancia de organismos en dicha área.

Conclusiones

Se contribuyó al conocimiento de la entomofauna acuática de la cuenca del río Metztitlán, con el aporte de 63 géneros correspondientes a 42 familias y 10 órdenes. La riqueza taxonómica permitió caracterizar a la cuenca en tres zonas: alta, media y baja. Las zonas alta y baja con menor riqueza taxonómica y con hábitas homogéneos, mientras que la zona media presentó mayor riqueza taxonómica y heterogeneidad del hábitat.

La zona intermedia de la cuenca presentó la menor alteración antropogénica debido a la ausencia de distritos de riego y mejores condiciones ambientales, como: menor concentración de nutrimentos, mayor concentración de oxígeno, y un fondo conformado por rocas, gravas y arenas. Lo cual provee una mayor variedad de hábitats lo que conlleva a una mayor diversidad de la entomofauna acuática

No obstante que los grupos tróficos presentaron diferencias espacial y temporal de la riqueza taxonómica. La abundancia de organismos correspondientes a cada grupo permite esquematizar de mejor forma la diferencia estacional y temporal de las categorías tróficas.

Las variables que influyeron en la distribución y estructura de los organismos fueron: la velocidad de la corriente, la temperatura, el cauce y el oxígeno. Sin embargo, se evidenció la preferencia de algunos organismos por las zonas con mayor concentración de nutrientes. No obstante, es necesario realizar estudios más específicos para poder determinar si realmente pueden ser empleados como bioindicadores.

Literatura citada

- Ahumada, A. 2002. *Barranca de Metztitlán Reserva de la Biosfera*. Ed. Peñoles, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán. México.
- Allan, J. D. 1995. *Stream ecology, structure and function*. Chapman y Hall. London.
- Allan, J. D. 2004. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35: 257-284.
- Angelier, E. 2002. *Ecología de las aguas corrientes*. Acribia. Zaragoza (España).
- Angradi, T. R. 1997. Hydrologic context and macroinvertebrate community response to floods in an Appalachian headwater stream. *American Midland Naturalist* 138: 371-386.
- APHA, AWWA y WPCF. 1992. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Díaz de Santos. Madrid.
- Araúz, B., R. Amores, y E. Medianero. 2000. Diversidad y distribución de insectos acuáticos a lo largo del cauce del río Chico (Provincia de Chiriquí, República de Panamá). *Scientia* 15(1): 27-46.
- Arce-Pérez R. y W. D. Shepard. 2001. Sinopsis de la familia PSEPHENIDAE (COLEOPTERA: Dryopoidea) de Norte y Centroamérica. *Folia Entomológica Mexicana* 40(3): 397-406.
- Arias-D., F. A., D. Reinoso-F., G. Guevara-C. y G. Villa-N. 2004. Aspectos bioecológicos de la familia Elmidae (insecta: Coleoptera) en la cuenca del Río Coello (Tolima, Colombia). XXXIX Congreso Nacional de Ciencias Biológicas; Ibagué Tolima-Colombia

- Arizona Game and Fish Department. 2001. *Heterelmis stephani*. Unpublished abstract compiled and edited by the Heritage Data Management System, Arizona Game and Fish Department, Phoenix, AZ.
- Armella-Villalpando M. A., M. de L. Yáñez-López, E. Sandoval-Palacios. 2003. *Metztitlán: lugar de la luna y de las maravillas*. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Bertrand, H. P. I. 1972. *Larves et nymphes des coleoptères aquatiques du globe*. Paris : Paillart.
- Borror, D. J., C. A., Triplehorn, y N. F. Johnson. 2000. *An introduction to the study of insects*. 6th, edition Saunders College Publishing. Fort Worth.
- Brown, H. P. 1970. A key to the dryopid genera of the new World (Coleoptera, Dryopoidea). *Entomology News* 81(7):171-175.
- Brown, H. P. 1987. Biology of riffle beetles. *Annual Review of Entomology* 32: 253-273.
- Brues, C. T., A. L. Melander y F. M. Carpenter. 1954. *Classification of insects: keys to the living and extinct families of insects, and to the living families of other terrestrial arthropods*. Cambridge, Mass. U. S. A.
- Bueno-Soria, J., J. B. López-Aguado y C. Márquez-Mayaudón. 1981. Consideraciones preliminares sobre la ecología de los insectos acuáticos del río Lerma. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Universidad Nacional Autónoma de México* Vol.(1)Núm. (2): 1-314.
- Cantu-Treviño, S. 1953. La vega de Metztitlán en el estado de Hidalgo. Tesis Maestría en Geografía, UNAM. México D.F.

- Cao, Y., A. W. Bark y P. Williams. 1997. Analysing benthic macroinvertebrate community changes along a pollution gradient: a framework for the development of biothric indices. In *Water Research* 31: 884-892.
- Carter-Romero, P. C. 1981. Estudio Taxonómico de los insectos del orden Trichoptera del río Tulancingo en la región de Venados, Hidalgo. Tesis para obtener el título de Biólogo. Facultad d Ciencias. UNAM.
- Colvard, J. J. 1978. El comportamiento alimentario de los mosquitos. Temas de Investigación y Ciencia *Edición Española de Scientific American* 23: 86-93.
- Comisión Económica Para América Latina (CEPAL). 1990. Los recursos hídricos de América Latina y del Caribe: Planificación, desastres naturales y contaminación. *Naciones Unidas*. Santiago de Chile.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) 2003. Ley Federal de Derechos y Normas Aplicables en Materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos Inherentes, 2003. *Diario Oficial de la Federación*. México. Enero 2:173-191
- Cornejo-Latorre, C., A. Rojas-Martínez, G. Juárez-Castillo y C. Cruz-Sánchez. 2006. Fluctuación de la abundancia anual de los murciélagos herbívoros de la Barranca de Metztitlán, en relación con los recursos quiropterofilos. En *IV Foro de Investigadores por la Conservación y II Simposio de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Hidalgo* el 16 y 17 de Octubre de 2006 en Pachuca, Hidalgo, Méx.
- Covich, A. P., A. Margaret, A. Palmer y T. A. Crowl. 1999. The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems. *BioScience* Vol. 49 (2): 119-127.
- Cummins, K. W. 1975. The ecology of running waters: theory and practice. Pages 277-293. In International Joint Commission. Internacional Referente Group on Great

Lakes Pollution from Land Use Activities. Compiler. Proceedings of the Sandusky River Basin Symposium. Tiffin, Ohio, USA.

De la Lanza; E. G., S. H. Pulido y J. L. P. Carvajal. 2000. *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)*. Plaza y Valdez, C.N.A.; Semarnap; Instituto de Biología, UNAM. México.

Dickman, M.D., J. R. Yang y I. D. Brindle. 1990. Impacts of heavy metals on higher aquatic plant diatoms and benthic invertebrate communities in the Niagara River Watershed near Welland, Ontario. *Water Pollution Research Journal Canadian* 25: 131-159.

Downing, J. A. 1991. The effect of habitat structure on the spatial distribution of freshwater invertebrate populations. In. *Habitat structure*. Ed. Bell S. S., D. McCoy y H. R. Mushinsky. Chapman y Hall. London.

Edmonds, G. F Jr., S. L. Jensen y L. Berner. 1979. *The mayflies of North and Central America*. Second edition. University of Minnesota Press. Minneapolis.

Egglishaw, H. J. 1969. The distribution of benthic macroinvertebrates on substrata of fast-flowing streams. *Journal. of Animal Ecology* 38:19-33.

Escorcia-Ignacio R., G. Pulido-Flores y S. Monks. 2006. Presencia de *Spauligodon* sp. en algunas especies de *Sceloporus* (Reptilia: IGUANIDAE) de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. In *IV Foro de Investigadores por la Conservación y II Simposio de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Hidalgo* el 16 y 17 de Octubre de 2006 en Pachuca, Hidalgo, Méx.

Fernández-Bringas, L. M. 2004. Evaluación de plaguicidas organoclorados en el sistema lacustre de Metztitlán, Hidalgo. Tesis de Maestría en Biología. Universidad Autónoma Metropolitana, México D. F.

- George, F. E. Jr., L. J. Steven y L. Berner. 1979. The mayflies of North and Central America. 2da. Edición. Ed. University of Minnesota. Minneapolis.
- Glenn, B. W. 2000. *Larvae of the North American caddisfly genera (Trichoptera)*. University of Toronto Press. Toronto, London.
- Gómez-Anaya, J. A., R. Novelo-Gutiérrez y R. Arce-Pérez. 2004. Structure and composition of two aquatic Coleoptera assemblages (Insecta: Coleoptera) of lotic environments from Zimapan, Hidalgo, México. *Folia Entomologica Mexicana* 43(1): 135-153.
- González-Cortés, J. C., A. Cabrera-González y J. M. Ayala Gómez. 2006. Flujo, calidad de agua y uso potencial de los manantiales de la microcuenca Atécuaro, Morelia, Michoacán, México. *Biológicas* N° 8: 31- 46.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. 2000. Reflexiones sobre la gestión de los cuerpos de agua epicontinental y su papel en la cultura. *Zoología Informa*. 43: 27-57.
- Hellawell, J. M. 1986. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier. London.
- Hendricks, A. C., D. Willis y C. Snyder. 1995. Impact of flooding on the densities of selected aquatic insects. *Hydrobiologia*. 299: 241-247.
- Henne, L. J., W. Daniel, W. Schneider y L. M. Martínez. 2002. Rapid assessment of organic pollution in a west-central Mexican river using a family-level biotic index. *Journal of Environmental Planning and Management* 45(5): 613-632.
- Hilsenhoff, W. L. 1987. An improved index of organic pollution. Great Lakes Entomologist 20(1): 31-39.
- Hilsenhoff, W. L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of North American Benthological Society* 7(1): 65-68.

- Horton, R.E., 1945 Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative monitoring. *Bulletin of Geological Society of America* 56:275–370
- Houghton, D. C. 2004. Biodiversity of Minnesota caddisflies (Insecta:Trichoptera): delineation and characterization of regions. *Environmental monitoring and assessment*. 95(1-3):153-181.
- Houghton, D. C. y K. W. Stewart. 1998. Life history and case-building behaviour of *Culoptila cantha* (Trichoptera: Glossosomatidae) in the Brazos River, Texas. *Annals of the Entomological Society of America* 91: 59-70.
- Hurtado, S., F. García-Trejo y P. J. Gutierrez-Yurrita. 2005. Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del río San Juan, Querétaro, México. *Folia Entomológica Mexicana* 44 (3):271 – 286.
- Hutchinson, G. E. 1993. *A treatise on limnology. Vol. IV. The zoobenthos*. John Wiley & Sons. New York.
- Ibáñez, A. A. L., J. L. García C.; A. Pérez-Rojas, S. Alvarez-Hernández, C. Alvarez-Silva y E. Nuñez-Portugal. 2001. El Lago de Metztitlán, Hidalgo. En: De La Lanza, G. y J.L. García Calderón. *Lagos y Presas de México*. 2ª Edición. Ed. AGT, México.
- Illies, J. y L. Botosaneanu, 1963 Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitteilungen. Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie* 12:1-57.
- Jansson, A. 1978. A new species of *Graptocorixa* from Mexico (Heteroptera, Corixidae). *The Pan-Pacific Entomologist* 54: 207-209.

- Jara, C. 2002. Evaluación de la existencia de insectos bioindicadores de la calidad del agua en zonas ritrónicas y potámicas de tres ríos de la zona semiárida de Chile. Memoria de título entregada a la Facultad de ciencias de la Universidad de Chile, para optar al título profesional de Biología Mención en Medio Ambiente.
- Jiménez-Sierra, C. L. y J. Reyes, S. 2003. Las cactáceas de la Barranca de Metztitlán. In M. A. Armella V., L. Yáñez L. y E. Sandoval P. (Eds): *Metztitlán: Lugar de la luna y de las maravillas*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México D. F.
- Jiménez-Sierra C. L. y L. Matias-Palafox. 2004. “Especies arbóreas y arbustivas y su interacción con las cactáceas de Metztitlán, Hgo. En: *II Foro de Investigadores “Caminando hacia la sustentabilidad*. Convento de los Santos Reyes. Metztitlán, Hidalgo, México, 04 de Junio de 2004.
- Johannsen, O. A. 1977. *Aquatic Diptera*. Entomological Reprint specialists. Los Angeles, California. Documento mimeografiado.
- Juárez-Flores J. y A. L. Ibáñez-Aguirre, 2003. Abundance and first record of benthic macroinvertebrates in lake Metztitlan, Hidalgo, Mexico. *Hidrobiologica* 13(2): 137-144.
- Lancaster, J. 1999. Small-scale movements of lotic macroinvertebrates with variations in flow. *Freshwater Biology* 41: 605-619.
- Lee, C. F. y M. A. Jäch. 1995. Psephenidae 1. Check list of the Psephenidae of China (Coleoptera). *Water Beetles of China* 1: 349-354.
- Leonard, J. W. y F. A. Leonard. 1962. *Mayflies of Michigan Trout streams*. Cranbrook Institute Science Bulletin.
- Livingstone, D. M. 1991. The diel oxygen cycle in three subalpine Swiss stream. *Archive of Hydrobiology* 120: 457-479.

- Llorente, J. B., A. N. García-Aldarete y E. González-Soriano. 1996. *Biodiversidad taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*. UNAM. México. En. Llorente J. B; A. N. García-Aldarete y E. González-Soriano. Biodiversidad Taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. UAM.México.
- López-Herrera M., G. Pulido-Flores y S. Monks. 2006. Bioacumulación de metales pesados en cultivos de interés agrícola en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. En *IV Foro de Investigadores por la Conservación y II Simposio de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Hidalgo* el 16 y 17 de Octubre de 2006 en Pachuca, Hidalgo, Méx.
- Lozada-Zarate, E. J., S. William, S. Monks, A. J. Gordillo-Martínez y G. P. Flores. 2006. Determinación de metales pesados en *Cyprinus carpio* de la Laguna de Metztitlán, Hidalgo, México. En *IV Foro de Investigadores por la Conservación y II Simposio de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Hidalgo* el 16 y 17 de Octubre de 2006 en Pachuca, Hidalgo, Méx.
- Lundkvist, E., J. Landin, M. Jackson y C. Svensson. 2003. Diving beetles (Dytiscidae) as predators of mosquito larvae (Culicidae), in field experiments and in laboratory tests of prey preference. *Bulletin of Entomological Research* Vol. 93(3): 219-225.
- Malavoi, J. R. e Y. Souchon. 2002. Description standardisee des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bulletin Francais de Peche et Pisciculture* 365/366 : 357-372.
- Mance, G. 1987. Pollution Treta of heavy metals in aquatic environments. In Toxicity Of metals to Freshwater invertebrates. Mellanby, K. Pollution Monitoring Series. Elsevier. New Cork.

- Margalef, R. 1986 *Ecología*. Omega. Barcelona.
- Marqués, M. J., E. Martínez-Conde y J. V. Rovira. 2001. Los macroinvertebrados como índices de evaluación rápida de ecosistemas acuáticos contaminados por metales pesados. *Ecotoxicology and Environmental Restoration* 4(1): 25-31.
- Martel, N., Rodríguez, M. A. y Bérubé, P. 2007. Multi-scale analysis of responses of stream macrobenthos to forestry activities and environmental context. *Freshwater Biology* 52: 85-97.
- McCafferty, W. P. y A. V. Provonsha. 1983. *Aquatic entomology: The fishermen's and ecologist's illustrated guide to insects and their relatives*. Jones and Bartlett Publishers, INC. Boston.
- McCall, P. L. y F. M. Soster. 1990. Benthos response to disturbance in Western Lake Erie: Regional faunal surveys. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 47: 1996-2009
- McClelland, W. T. y M. A. Brusven. 1980. Effects of sedimentation on the behaviour and distribution of riffle insects in a laboratory stream. *Aquatic Insects* 2:161-169.
- McCune, B. 1997. Influence of noisy environmental data on canonical correspondence analysis. *Ecology* 78(8): 2617-2623.
- McCune, B., y M. J. Mefford. 1995. PC-ORD, multivariate analysis of ecological data. Version 2.05. Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.; MjM Software.
- McFarlane, M. B. 1983. Structure of benthic macroinvertebrate communities in a midwestern plains Stream. *Freshwater Invertebrate Biology* 2(3): 147-153.
- McGarigal, K., S. Cushman y S. Stanford. 2000. *Multivariate statistics for wildlife and ecology research*. Springer. New York.

- Medianero, E. y M. Samaniego. 2004. Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el río Curundú, Panamá. *Folia Entomológica Mexicana* 43 (3): 279-294.
- Melo, A. S., y C. G. Froehlich. 2001. Macroinvertebrates in neotropical streams: richness patterns along a catchment and assemblage structure between two seasons. *Journal of North American Benthological Society* 20(1):1-16.
- Mendoza, G. 2004. El cultivo de tejidos como una estrategia para la conservación de *Astrophytum ornatum* (De Candolle) Weber (Cactaceae) especie amenazada de la barranca de Metztitlán. En: *II Foro de Investigadores "Caminando hacia la sustentabilidad"*. Convento de los Santos Reyes. Metztitlán, Hidalgo, México, 04 de Junio de 2004.
- Merrit, R. W. y K. W. Cummins. 1996. *An Introduction to the aquatic insects of North America*. 3rd edition. Kendall/Hunt. Dubuque, Iowa.
- Merrit, R. W. y R. S. Wotton. 1988. The life history and behavior of *Limnophora riparia* (Diptera: Muscidae), a predator of larval black flies. *Journal of North American Benthological Society* 7(1):1-12.
- Miller, G. T. 1988. *Living in the environment*. Wadsworth Publishing Company. Belmont, CA.
- Minshall, W. G. 1984. Aquatic insect-substratum relationships. 358-400 pp. In: Resh, V. H., D. M. Rosenberg (eds.). *The ecology of aquatic insects*. Praeger Publisher. New York, USA.
- Müller, J. y G. Weise. 1987. Oxigen budget of a river rich in submerged macrophytes (River Zschopau in the south of the GDR). *Internationale Revue Gesamtem Hydrobiologie und hydrographie* 126:315-327.

- Needham, J. G., M. J. Westfall, Jr. y M. L. May. 2000. Dragonflies of North America. Scientific Publishers. Gainesville.
- Negrete-Fernández, G. Rodríguez-Guzmán, M. del P. Peña-Martínez, R. Ochoa-Martínez, D. L. 2006. Dinámica de virus fitopatogenos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), en Metztitlán Hidalgo. En *IV Foro de Investigadores por la Conservación y II Simposio de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Hidalgo* el 16 y 17 de Octubre de 2006 en Pachuca, Hidalgo, Méx.
- Nieser, N. y D. A. Polhemus, 1999. Four new species of Rhagovelia (heteroptera: Velidae) from Minas Gerais (Brazil), with a key to the regional species of the *angustipes* complex. *Aquatic Insects* Vol. 21 (1): 53-76.
- Nieto, C. 2003. El género *Camelobaetidius*, (Ephemeroptera: Baetidae) en la Argentina. *Acta Zoológica Mexicana* 88: 233-255.
- Nieves, A. 1989. Estudio de las comunidades macrobénticas en el río Manzanares y sus principales afluentes y su relación con la calidad del agua. *Actualidades Biológicas* 18(65): 45-60.
- Norris, R. y C. Hawkins. 2000. Monitoring river health. *Hydrobiología* 435: 5-17.
- Ordóñez-Xahuentitla A., M. P. Rodríguez Guzmán, R. Peña Martínez y D. Ochoa-Martínez. 2006. Eficiencia de transmisión de virus fitopatogénos por áfidos en jitomate (*Lycopersicon esculentum*), en la Vega de Metztitlán, Hidalgo. En *IV Foro de Investigadores por la Conservación y II Simposio de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Hidalgo* el 16 y 17 de Octubre de 2006 en Pachuca, Hidalgo, Méx.
- Peckarsky, B. L., P. R. Fraissinet, M. A. Penton y D. J. Conklin, Jr. 1990. Freshwater macroinvertebrates of Northeastern, North America. Comstock Publishing Associates. London.

- Pennak, R. W. 1978. *Fresh Water Invertebrates of the United States*. John Wiley & Sons. New York.
- Pérez, B., y S. Segnini. 2005. variación espacial de la composición y diversidad de géneros de Ephemeroptera (Insecta) en un río tropical altiandino. *Entomotropica* Vol. 20 (1): 49-57.
- Pérez-Munguía, R. M., F. Pineda-López y V. Campos-Cervantes. 2004. Estructura de las asociaciones de macroinvertebrados acuáticos de manantiales cársticos en la Huasteca Mexicana. *Biológicas* N° 6: 36-47.
- Pérez-Munguía, R. M., M. S. Aguilera ríos y J. L. Mora-Guerrero. 2006. Monitoreo ambiental del río Cupatitzio, en la cabecera de la microcuenca y dentro del Parque Nacional Barranca de Cupatitzio, en la ciudad de Uruapan, Michoacán. *Biológicas* N° 8: 18-30.
- Power, M., J. Stout, C. Cushing, P. Harper, R. Hauer, E. Matthews, P. Moyle, B. Statzner y W. Bardgen. 1988. Biotic and abiotic controls in river and stream communities. *Journal of the North American Benthological Society* 7(4): 456 - 479.
- Ramírez, J. y G. Roldan. 1989. Contribución al conocimiento limnológico y de los macroinvertebrados acuáticos de algunos ríos de la región del Uraba Antioqueño. *Actualidades Biológicas* 18: 113-121.
- Rincón, M. E. 2003. Comunidad de insectos acuáticos de la quebrada Mamarramos (Boyacá, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología* 14: 3-13.
- Roldan, G. 1992. Fundamentos de limnología tropical. Editorial Universitaria de Antioquia. Colombia.
- Ross, H. H., C. A. Ross y J. R. P. Ross. 1991. *A textbook of entomology*. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida.

- Rovirosa, W. L. 1974. *La comisión para el desarrollo de la Cuenca del Río Metztitlán*. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D. F.
- Sánchez-Mejorada, H. 1978. *Manual de campo de las Cactáceas y Suculentas de la Barranca de Metztitlán*. Sociedad Mexicana de Cactología.
- Seagle, H. H. Jr. 1982. Comparison of the food habits of three species of riffle beetles, *Stenelmis creanata*, *Stenelmis mera* y *Optioservus trivittatus* (Coleoptera: Dryopoidea: Elmidae). *Freshwater Invertebrate Biology* 1 (2): 33-38.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) 1989. Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua. CE-CCA-001/89. *Diario Oficial de la Federación*. Diciembre de 1989.
- Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) 1999. *Documento técnico justificativo para la creación de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo*.
- Skidmore, P. 1985. *The biology of the Muscidae of the world*. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Spangler, J. P. 1982. Coleoptera. 328 – 396 pp. In S.H. Hurlbert and Villalobos-Figueroa (eds): *Aquatic biota of Mexico, Central America and West Indies*. San Diego State University. San Diego, California.
- Statzner, B., J. A. Gore y V. H. Resh. 1988. Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications. *Journal of North American Benthological Society*. 7: 307-360.
- Storey, R. G. y Williams, D. D. 2004. spatial responses of hyporheic invertebrates to seasonal changes in environmental parameters. *Freshwater Biology* 49: 1468-1486.

- Strayer, D. L., S. E. May, P. Nielsen, W. Wolheim y S. Hausam. 1997. Oxygen, organic matter and sediment granulometry as controls on hyporheic animal communities. *Archiv für Hydrobiologie* 140: 131-144.
- Tamayo, J. L. 1962. *Geografía general de México: geografía física*. 2^{da} edición. Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas. México.
- Toro, J., J. P. Schuter, J. Kurosawa, E. Araya y M. Contreras 2003. *Diagnostico de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores río Maipo (Santiago: Chile)*.
- Traver, J. y G. F. Edmonds. 1968. A revision of the Baetidae with spatula-clawed nymphs (Ephemeroptera). *Pacific Insects* 10(3-4): 629-677.
- Usinger, R. L. 1956. *Aquatic insects of California: With keys to North American genera and California species*. University of California Press. Los Angeles.
- Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell y C. E. Cushing. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Wall, D. H. y J. C. Moore. 1999. Interactions underground. *BioScience* 49:109-117.
- Ward, J. W. 1992. *Aquatic insect ecology: biology and habitat*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Warren, C. H. E. 1971. *Biology and water pollution control*. W.B. Saunders Co., Philadelphia.
- Weigel, M. B., L.J. Henne y L.M. Martínez-Rivera. 2002. Macroinvertebrate-based index of biotic integrity for protection of streams in west-central México. *Journal of North American Benthological Society* 21(4): 686-700.

- Westfall, M. J. Jr. y M. L. May. 1996. *Damselflies of North America*. Scientific Publishers. Gainesville.
- Wichard, W., W. Arens y G. Eisenbeis. 2002. *Biological atlas of aquatic insects*. Apollo Books. Stenstrup, Denmark.
- Wiggins, G. B. 2000. *Larvae of North America caddisfly genera (Trichoptera)*. Second edition. University of Toronto Press. Toronto.
- Williams, D. D. 1980. Some relationships between stream benthos and substrate heterogeneity. *Limnology and oceanography* 25(1): 166-172.
- Williams, D. D. y B. W. Feltmate. 1992. *Aquatic Insects*. C. A. B. I. Canadá.
- Wilson, C. B. 1923. Life history of the scavenger water-beetle, *Hydrous (Hydrophilus) triangularis*, and its economic importance to fish breeding. *Bulletin of the United States Bureau of Fisheries* 39: 9-38.
- Worf, W. E. 1980. Biological monitoring for environmental effects. Lexington, Massachusetts: Massachusetts Books.
- Zimmerman, J. R. y R. L. Smith. 1975. The genus *Rhantus* (Coleoptera: DYTISCIDAE) in North America. Part I General Account of the species. *Transactions of the American Entomological Society* vol. 101: 33-41.
- Zuccaro, G. y L. Bulla. 1985. Estudio comparativo de la entomofauna en cuatro sabanas venezolanas. *Acta Científica Venezolana* 36(5-6): 365-372.

ANEXO I. Datos de las variables limnológicas y abundancia de la entomofauna acuática en la cuenca del río Metztitlán.

Cuadro 15. Concentración espacial y temporal de las variables físicas durante el ciclo de muestreo.

Temperatura °C					
	ene.- 05	abr.	jul.	nov.	ene. - 06
Sn. Salvador	14.7	26.7	19.1	15.2	13.7
Sn. Pablo	24.3	26.6	24.1	18.6	21.3
Sn. Sebastián	21.6	27.3	26.2	20.5	20
Sn. Bartolomé	22.3	25.5	26.4	21.3	20
Pte. Venados	21.2	26.3	25.6	20.5	18
Jilotla	21.2	23.8	24.1	18.4	19.7
Sn. Cristóbal	21.6	23.9	26.1	19.7	19.8

Velocidad de la corriente (m /seg).					
	ene.- 05	abr.	jul.	nov.	ene. - 06
Sn. Salvador	2.62	0.00	4.28	6.34	6.31
Sn. Pablo	2.71	0.62	4.62	6.61	2.80
Sn. Sebastián	2.57	0.93	4.41	3.41	2.73
Sn. Bartolomé	3.91	5.23	4.04	4.75	2.87
Pte. Venados	2.05	1.26	5.30	8.48	3.91
Jilotla	2.70	1.36	10.54	17.33	13.65
Sn. Cristóbal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cauce (m)					
	ene.- 05	abr.	jul.	nov.	ene. - 06
Sn. Salvador	5.00	5.00	5.00	50.00	2.50
Sn. Pablo	8.70	8.70	8.70	30.00	6.00
Sn. Sebastián	6.50	6.50	6.50	21.00	16.00
Sn. Bartolomé	12.00	6.90	13.40	40.00	13.00
Pte. Venados	7.30	7.30	7.30	40.00	25.00
Jilotla	4.60	4.60	4.60	6.00	5.00
Sn. Cristóbal	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00

Profundidad "Z" (m)					
	ene.- 05	abr.	jul.	nov.	ene. - 06
Sn. Salvador	0.2	0.3	0.6	0.3	0.2
Sn. Pablo	0.4	0.4	0.6	1	0.5
Sn. Sebastián	0.4	0.4	0.6	0.6	0.4
Sn. Bartolomé	0.6	0.6	0.2	0.8	0.4
Pte. Venados	0.3	0.3	0.4	0.7	0.4
Jilotla	0.4	0.4	0.6	1.5	1.5
Sn. Cristóbal	3.25	1.8	2.5	4	3.3

Cuadro 16. Concentración espacial y temporal de las variables químicas durante el ciclo de muestreo.

Oxígeno (mg/l)					
	ene.- 05	abr.	jul.	nov.	ene. - 06
Sn. Salvador	4.48	1.95	3.36	4.66	7.44
Sn. Pablo	6.45	4.75	6.31	8.45	6.02
Sn. Sebastián	7.43	4.90	6.59	7.26	7.80
Sn. Bartolomé	6.66	5.00	6.59	6.95	7.71
Pte. Venados	6.03	5.20	7.01	7.42	8.68
Jilotla	5.68	3.50	5.33	6.31	8.68
Sn. Cristóbal	9.67	7.60	12.40	6.63	7.80

Amonio NH ₄ ⁺					
	ene.- 05	abr.	jul.	nov.	ene. - 06
Sn. Salvador	0.02	0.02	0.04	0.00	0.00
Sn. Pablo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sn. Sebastián	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sn. Bartolomé	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pte. Venados	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jilotla	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00
Sn. Cristóbal	0.20	0.20	0.30	0.06	0.00

Nitritos NO ₂ ⁻					
	ene.- 05	abr.	jul.	nov.	ene. - 06
Sn. Salvador	0.10	0.10	0.10	0.05	0.08
Sn. Pablo	0.05	0.06	0.07	0.05	0.03
Sn. Sebastián	0.05	0.06	0.02	0.04	0.02
Sn. Bartolomé	0.05	0.06	0.05	0.04	0.03
Pte. Venados	0.05	0.06	0.02	0.04	0.02
Jilotla	0.07	0.08	0.04	0.05	0.03
Sn. Cristóbal	0.09	0.09	0.08	0.06	0.05

Nitratos NO ₃ ⁻					
	ene.- 05	abr.	jul.	nov.	ene. - 06
Sn. Salvador	0.30	0.30	0.30	0.10	0.30
Sn. Pablo	0.40	0.40	0.27	0.09	0.30
Sn. Sebastián	0.20	0.20	0.10	0.08	0.30
Sn. Bartolomé	0.30	0.20	0.10	0.09	0.30
Pte. Venados	0.20	0.30	0.10	0.09	0.40
Jilotla	0.30	0.40	0.30	0.20	0.40
Sn. Cristóbal	0.40	0.40	0.50	0.30	0.40

Ortofosfatos PO ₄ ³⁻					
	ene.- 05	abr.	jul.	nov.	ene. - 06
Sn. Salvador	0.20	0.25	0.22	0.06	0.25
Sn. Pablo	0.10	0.15	0.10	0.04	0.05
Sn. Sebastián	0.05	0.08	0.08	0.04	0.05
Sn. Bartolomé	0.08	0.09	0.08	0.04	0.05
Pte. Venados	0.06	0.06	0.08	0.04	0.05
Jilotla	0.09	0.10	0.10	0.06	0.08
Sn. Cristóbal	0.30	0.35	0.30	0.10	0.10

Cuadro 17. Abundancia de la entomofauna acuática durante el ciclo de muestreo, enero de 2005 a enero 2006

Estaciones	<i>Aeshna</i>	<i>Ambrysus</i>	<i>Argia</i>	<i>Atopsyche</i>	<i>Baetis</i>	<i>Baetodes</i>	<i>Belostoma</i>	<i>Berosus</i>	<i>Camelobaetis</i>	<i>Ceraclea</i>	<i>Cheumatopsyche</i>	<i>Chimarra</i>	<i>Chrysops</i>	<i>Climocera</i>	<i>Corydalis</i>	<i>Culoptila</i>	<i>Entomobrya</i>	<i>Epeorus (Iron)</i>	<i>Graptocorixa</i>	<i>Helichus</i>	<i>Hemerodromia</i>	<i>Heptagenia</i>	<i>Heterina</i>	<i>Heterelmis</i>
Sn. Salvador			1		337	7					1								24		25			
Sn. Pablo		2	17		518	3	3				63		2		11								17	11
Sn. Sebastián				2	455	127			53		76		1		8	5								137
Sn. Bartolomé				11	199	232			30		13			1	2	2		1			1	2	1	132
Venados			7	22	14	80			21	1	82		6		6			1			1			360
Jilotla				4		57					33											9		20
Sn. Cristóbal	3		30		2												1							3
Sn. Salvador	5				20			5											158		10			
Sn. Pablo		1	2		246		1		3		25				7						1		1	14
Sn. Sebastián			1		133	19			17	14	111		3		7									263
Sn. Bartolomé				3	131	116			23	2	193		9		2							1	2	310
Venados			3	2	30	57			5		45													148
Jilotla																								
Sn. Cristóbal																								
Sn. Salvador																								
Sn. Pablo		1	1		62	2					2				20						5			17
Sn. Sebastián				1	203	17			9	3	164		1		9						4			164
Sn. Bartolomé		2		1	255	87			25	3	28		1											79
Venados			2		5	31			129		6		3		2									150
Jilotla			1		23	1			16		6				6						2	2		13
Sn. Cristóbal					13																			
Sn. Salvador																								1
Sn. Pablo					2	11																		12
Sn. Sebastián					185	15					4										3			110
Sn. Bartolomé		3			228	47			1		16				7						2			269
Venados				1	79	104			22		14				10									245
Jilotla					2	23																		3
Sn. Cristóbal																								
Sn. Salvador																								
Sn. Pablo					407	359			49		2	8	1	2	1									34
Sn. Sebastián					49	75			89	1	23	1	4		2	1						2	1	184
Sn. Bartolomé				1	43	172			338		19	1	6		6							1		192
Venados				17	47	345			12		16	1	2		5							14		189
Jilotla				1	1	11																		1
Sn. Cristóbal																								

Cuadro 17. Continuación

Estaciones	<i>Hydrophilus</i>	<i>Hydroponus</i>	<i>Hydropila</i>	<i>Leptotyphlus</i>	<i>Leptonema</i>	<i>Leucorichia</i>	<i>Libellula</i>	<i>Limnephora</i>	<i>Mesovelia</i>	<i>Microcyllaeus</i>	<i>Nectopsyche</i>	<i>Neocyllaeus</i>	<i>Neoneura</i>	<i>Neureclipsis</i>	<i>Ochrotrichia</i>	<i>Odontomyia</i>	<i>Erpetogomphus</i>	<i>Oreodytes</i>	<i>Paraleptophlebia</i>	<i>Pareproctyx</i>
Sn. Salvador	6									51								6		
Sn. Pablo			8	167	4		1			61		2	6		27		4			
Sn. Sebastián			3	361						53							3		156	
Sn. Bartolomé			1	271						22		1					1		29	
Venados			4	157						22									53	
Jilotla			12	9						23	2				2					1
Sn. Cristóbal							2		3											
Sn. Salvador		2	4				8						13		2		12	26		
Sn. Pablo			2	137	3	1				126					3		3		5	1
Sn. Sebastián				375						212					2		16		310	9
Sn. Bartolomé				443	5				1	151		4			1	2	14		514	
Venados			1	99						238										
Jilotla																				
Sn. Cristóbal																				
Sn. Salvador																				
Sn. Pablo				23	4					15		1	2						1	
Sn. Sebastián				265						57		2					1		98	3
Sn. Bartolomé				133						101									47	4
Venados				7	2					250		1								
Jilotla				3						11			1							
Sn. Cristóbal													1							
Sn. Salvador																				
Sn. Pablo				1																
Sn. Sebastián				8																
Sn. Bartolomé				44	1					1										
Venados				16	1															
Jilotla				1																
Sn. Cristóbal																				
Sn. Salvador																				
Sn. Pablo	1		51	9	2												8		36	
Sn. Sebastián				14						5				1			46		156	
Sn. Bartolomé				12						2	1						14		275	
Venados				240	1					44	1				1		1		88	
Jilotla																				
Sn. Cristóbal	1																			

Cuadro 17. Continuación

Estaciones	<i>Peloclytus</i>	<i>Pterophila</i>	<i>Phanocenus</i>	<i>Probezia</i>	<i>Psaphenus</i>	<i>Rhagoxelia</i>	<i>Rhantus</i>	<i>Sinidium</i>	<i>Sisyra</i>	<i>Stenobris</i>	<i>Talonus</i>	<i>Thraudoxes</i>	<i>Traverella</i>	<i>Tricorytodes</i>
Sn. Salvador				51			13	90						
Sn. Pablo		2	5	3	3	6		49						
Sn. Sebastián	1			6	12			246				31		8
Sn. Bartolomé		4	12	5	10			155				49		8
Venados			7					113					141	20
Jilotla		1	1					1318		2			16	
Sn. Cristóbal				1	2				1		1			
Sn. Salvador				1				2						10
Sn. Pablo			10	3	1	1		65						105
Sn. Sebastián				1	79			75					31	103
Sn. Bartolomé	1		25	1	126	1		87					61	142
Venados		3	17	4	2	7		7					66	49
Jilotla														
Sn. Cristóbal														
Sn. Salvador														
Sn. Pablo		1						46					1	
Sn. Sebastián	26							1					137	19
Sn. Bartolomé	10							20					64	13
Venados		2	1		20			1					4	55
Jilotla				1				212		1				1
Sn. Cristóbal														
Sn. Salvador		1												
Sn. Pablo								325						
Sn. Sebastián								84						
Sn. Bartolomé		6			1			152					1	3
Venados		216						35					25	
Jilotla		1						625						
Sn. Cristóbal														
Sn. Salvador							10							
Sn. Pablo			1	3	5			2						3
Sn. Sebastián					108			1						8
Sn. Bartolomé			2	3	82			22						15
Venados			18	1	42			44					62	3
Jilotla								157						
Sn. Cristóbal														

ANEXO 2. Reportes del ANOVA, de las variables físicas y químicas en época de secas y lluvias

Analysis of Variance Report

Temperatura

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision
Skewness Normality of Residuals	-1.7883	0.073723	Accept
Kurtosis Normality of Residuals	0.9462	0.344048	Accept
Omnibus Normality of Residuals	4.0934	0.12916	Accept
Modified-Levene Equal-Variance Test	0.3379	0.571821	Accept

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
Term						
A: X_poca	1	150.4864	150.4864	49.27	0.000014*	0.999995
S(A)	12	36.64857	3.054048			
Total (Adjusted)	13	187.135				
Total	14					

* Term significant at alpha = 0.05

Analysis of Variance Report

Velocidad de la corriente

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision
Skewness Normality of Residuals	2.2782	0.022716	Reject
Kurtosis Normality of Residuals	2.4815	0.013085	Reject
Omnibus Normality of Residuals	11.3477	0.003435	Reject
Modified-Levene Equal-Variance Test	2.3499	0.151224	Accept

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
Term						
A: X_poca	1	100.5094	100.5094	6.18	0.028661*	0.627042
S(A)	12	195.2172	16.2681			
Total (Adjusted)	13	295.7267				
Total	14					

* Term significant at alpha = 0.05

Analysis of Variance Report

Cauce

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision
Skewness Normality of Residuals	-0.2956	0.76753	Accept
Kurtosis Normality of Residuals	0.9766	0.328764	Accept
Omnibus Normality of Residuals	1.0411	0.59418	Accept
Modified-Levene Equal-Variance Test	6.8208	0.022732	Reject

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
Term						
A: X_poca	1	1564.571	1564.571	12.32	0.004297*	0.895933
S(A)	12	1523.429	126.9524			
Total (Adjusted)	13	3088				
Total	14					

* Term significant at alpha = 0.05

Analysis of Variance Report

Profundidad

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision
Skewness Normality of Residuals	3.3312	0.000865	Reject
Kurtosis Normality of Residuals	2.8508	0.004361	Reject
Omnibus Normality of Residuals	19.2235	0.000067	Reject
Modified-Levene Equal-Variance Test	0.8956	0.362627	Accept

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: X_poca	1	1.577857	1.577857	1.68	0.218989	0.222906
S(A)	12	11.25429	0.9378572			
Total (Adjusted)	13	12.83214				
Total	14					

* Term significant at alpha = 0.05

Analysis of Variance Report

Oxígeno disuelto (mg/l)

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision
Skewness Normality of Residuals	-0.1908	0.848652	Accept
Kurtosis Normality of Residuals	1.0239	0.305878	Accept
Omnibus Normality of Residuals	1.0848	0.581349	Accept
Modified-Levene Equal-Variance Test	0.268	0.614088	Accept

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: X_poca	1	15.58532	15.58532	7.2	0.019918*	0.693056
S(A)	12	25.9768	2.164733			
Total (Adjusted)	13	41.56212				
Total	14					

* Term significant at alpha = 0.05

Analysis of Variance Report

Amonio (NH₄⁺)

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision
Skewness Normality of Residuals	3.7349	0.000188	Reject
Kurtosis Normality of Residuals	3.3129	0.000923	Reject
Omnibus Normality of Residuals	24.9247	0.000004	Reject
Modified-Levene Equal-Variance Test	0.9677	0.344663	Accept

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: X_poca	1	2.86E-03	2.86E-03	0.97	0.344663	0.148197
S(A)	12	3.54E-02	2.95E-03			
Total (Adjusted)	13	3.83E-02				
Total	14					

* Term significant at alpha = 0.05

Analysis of Variance Report

Nitritos (NO₂)

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision
Skewness Normality of Residuals	1.3596	0.17396	Accept
Kurtosis Normality of Residuals	0.0784	0.937501	Accept
Omnibus Normality of Residuals	1.8546	0.395615	Accept
Modified-Levene Equal-Variance Test	1.1194	0.310881	Accept

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: X_poca	1	2.31E-03	2.31E-03	13.32	0.003333*	0.916918
S(A)	12	2.09E-03	1.74E-04			
Total (Adjusted)	13	0.0044				
Total	14					

* Term significant at alpha = 0.05

Analysis of Variance Report

Nitratos (NO₃⁻)

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision
Skewness Normality of Residuals	0.8361	0.403106	Accept
Kurtosis Normality of Residuals	-0.438	0.661409	Accept
Omnibus Normality of Residuals	0.8909	0.64055	Accept
Modified-Levene Equal-Variance Test	0.4051	0.536437	Accept

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: X_poca	1	0.1116071	0.1116071	14.82	0.002309*	0.941514
S(A)	12	9.03E-02	7.53E-03			
Total (Adjusted)	13	0.20195				
Total	14					

* Term significant at alpha = 0.05

Analysis of Variance Report

Ortofosfatos (PO₄³⁻)

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision
Skewness Normality of Residuals	2.372	0.017692	Reject
Kurtosis Normality of Residuals	1.9804	0.047653	Reject
Omnibus Normality of Residuals	9.5486	0.008444	Reject
Modified-Levene Equal-Variance Test	2.8226	0.118767	Accept

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: X_poca	1	3.48E-02	3.48E-02	5.81	0.032902*	0.60067
S(A)	12	7.19E-02	5.99E-03			
Total (Adjusted)	13	0.1066894				
Total	14					

* Term significant at alpha = 0.05

ANEXO 3. Aspectos biológicos y ecológicos de la entomofauna acuática registrada en el Río Metztitlán

Ecología de insectos

Diagnosis de la diversidad taxonómica y aspectos biológicos de la entomofauna acuática presente en la cuenca del río Metztitlán, Hidalgo.

Orden Collembola

Los organismos pertenecientes a este orden son muy pequeños generalmente menores a 3 mm de longitud, aunque alguna especies pueden medir 10 mm; el cuerpo puede ser alargado con segmentaciones apreciables o globular sin segmentación definida; las partes bucales están adaptadas para succionar en algunas especies y ara masticar en otras: la alimentación de los géneros acuáticos consiste en materia orgánica animal y vegetal en descomposición, la cual usualmente se encuentra en las zonas de aguas sin corriente, zona intersticial, etc., no son organismos totalmente acuáticos pues se alimentan y viven principalmente en estos ambientes pero no depositan sus huevos en el agua (Usinger, 1956).

Familia ENTOMOBRYIDAE

Género *Entomobrya*.

Los miembros de esta familia se encuentran ocasionalmente asociados con los ambientes acuáticos dulceacuícolas (McCafferty y Provonsha, 1983), son de hábito colector y carroñero se alimentan de detritivo y materia orgánica animal y vegetal en descomposición (Usinger, 1956; Merrit y Cummins, 1996).



Orden Ephemeroptera.

Este orden es relativamente primitivo en el cual todas las larvas son acuáticas y frágiles, los adultos son terrestres y presentan un ciclo de vida corto.

Los efemerópteros generalmente son el grupo más común en la comunidad del bentos en los ambientes dulceacuícolas, esto se debe a que la mayoría de las especies son detritívoras, herbívoras y algunas carnívoras. Muchas especies que pertenecen a este orden son altamente susceptibles a la contaminación o se encuentran en determinados tipos de ambientes, por tal motivo son empleados en los análisis de biomonitoreo.

Estos organismos presentan una metamorfosis completa, la morfología del adulto y de la larva es muy diferente al igual que el hábitat en estas etapas. La mayoría de las especies presentan una o dos generaciones por año; la larva presenta un número variado de estadios incluso dentro de la misma especie, lo cual depende de las condiciones ambientales locales. Estos organismos se presentan en casi todos los cuerpos de agua continentales (naturales y artificiales), siempre y cuando cuenten con las concentraciones de oxígeno disuelto adecuado. Comúnmente se encuentran asociados al bentos de aguas corrientes, estanques y en el área somera de los lagos (McCafferty y Provonsha, 1983).

Familia BAETIDAE

Género *Baetis*.

Las ninfas pertenecientes a este género presentan una variación de los estadios larvarios, pues algunas especies emergen todo el año, otras en la época de verano, de tal forma que el tiempo requerido por las larvas para madurar hasta la etapa adulta varía lo cual depende del tiempo y del área en que se localicen las especies. Las hembras de varias especies pueden ser observadas ovopositando con el cuerpo parcialmente sumergido dentro del agua, para colocarlos en algún sustrato. En la mayoría de las especies el vuelo se realiza por las tardes, se pueden observar en conjunto de pocos o muchos individuos volando a una altura aproximada de 2 m sobre la superficie del agua.

Las ninfas son buenas nadadoras cuando se detienen se ayudan con sus uñas para mantenerse en el sustrato los tres filamentos caudales le permiten tener un movimiento natatorio muy rápido. Se localizan en aguas corrientes poco profundas, sobre o debajo de las piedras, rocas, en detritus y la vegetación presente en el caudal del río. Dependiendo de la especie las ninfas se localizan en aguas quietas o corrientes, a diferentes altitudes y latitudes, y a diferentes temperaturas. Los adultos son de vida terrestre aunque se mantienen cerca de los ambientes acuáticos. (Edmonds *et al.*, 1979)



Género *Baetodes*.

Las ninfas presentan diversas etapas larvarias (acuáticas) antes de llegar a la etapa adulta, los cuales emergen en las estaciones de primavera y verano, aunque en Brasil aparentemente es durante todo el año. Las ninfas se encuentran en ríos no muy grandes que presenten una velocidad de la corriente moderada, en la superficie o debajo de las rocas o en la vegetación y se pueden encontrar en asociación con otras larvas de insectos. A diferencia de otros géneros de la familia Baetidae este género se arrastra muy despacio y no es buen nadador.



Género *Camelobaetidius*.

Las ninfas presentan diversos estadios larvales antes de llegar a la etapa adulta, la temporada en que emergen puede variar dependiendo de las condiciones climáticas presentes en el área. Traver y Edmonds (1968), consideraron que existen suficientes caracteres para separar a *Camelobaetidius* de *Dactylobaetis*, por ejemplo la región basal de los cercus y el filamento Terminal sin sedas, el ápice de las tibias anteriores presenta un agrupamiento de espinas y los fémures anteriores un tubérculo en el margen interno. Se localizan principalmente en ríos pequeños aunque con poca frecuencia pueden estar

presentes en ríos medianos y grandes, son ninfas nadadoras y pueden asirse a las rocas, tallos de las plantas y algas (Merrit y Cummins, 1996; Nieto, 2003)



Familia HEPTAGENIIDAE.

Género *Epeorus* (Eaton, 1881)

Subgénero *Iron* (Eaton, 1883)

Las ninfas se encuentran en sistemas lóticos con sustratos pedregosos y detritos, *Epeorus* es un género utilizado en el biomonitoreo ya que es intolerante a la contaminación orgánica. Las ninfas cuentan con un cuerpo aplanado con una longitud de 7-18 mm en las etapas maduras, presentan una cabeza más o menos circular ensanchada a la altura de los ojos, son de hábito colector y raspador (De la Lanza et al., 2000). Habitan aguas poco profundas frías o frescas con flujo de corriente rápido, se mantienen sujetas a las rocas y otros materiales sujetos al fondo, son malas nadadoras. Requieren de 7 a 8 meses para alcanzar la etapa adulta, los adultos pueden ser observados por la mañana y por la noche, los cuales emergen de abril a septiembre y miden de 7-19 mm de longitud (De la Lanza et al., 2000; George et al., 1979)



Género *Heptagenia*

Las ninfas presentan un cuerpo de 6-12 mm de longitud con agallas abdominales y tres filamentos caudales. Las larvas maduras a menudo se encuentran bajo las rocas y en estanques con aguas quietas, aunque en este caso solo se localizan en los márgenes de lagos y estanques. Generalmente se encuentran sobre las rocas y en el detritus (George et al., 1979). Se localizan en aguas poco profundas de ríos y arroyos con un flujo de agua moderadamente rápido o rápido, con sustratos pedregosos (De la Lanza et al., 2000). Son organismos muy activos, los adultos miden de 5-15 mm de longitud con coloración crema, café rojizo o púrpura (George et al., 1979).

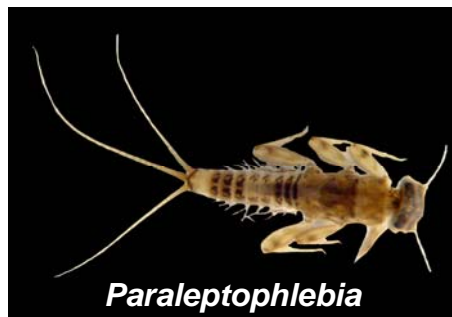


Familia LEPTOPHLEBIIDAE

Género *Paraleptophlebia*.

El tiempo requerido para completar el desarrollo ninfal de este género varia, ya que puede llevar desde 6 meses hasta un año, es decir pueden existir una o más generaciones por año cuando la ninfa esta por madurar en la etapa adulta se desplaza cerca de la superficie del agua para que surja el adulto, el periodo en que emergen puede variar dependiendo de las condiciones climáticas en el área, el flujo y temperatura del agua.

Se encuentran en ambientes acuáticos poco profundos, como ríos pequeños con velocidad de la corriente de agua moderada, aunque algunas especies se pueden localizar en grandes ríos, prefieren los fondos gravosos y áreas en las cuales existe follaje en descomposición, pueden permanecer en los pequeños espacios existente entre las rocas y el fondo del río, y adheridos a la vegetación presente en el área. Son malas nadadoras, se mueven por medio de movimientos ondulatorios del cuerpo; son colectores que se alimentan de detritus y algas (Edmonds *et al.*, 1979; Merrit y Cummins, 1996). El adulto generalmente vuela sobre los cuerpos de agua, también se observan en áreas alejadas de los sistemas acuáticos (Leonard y Leonard, 1962).



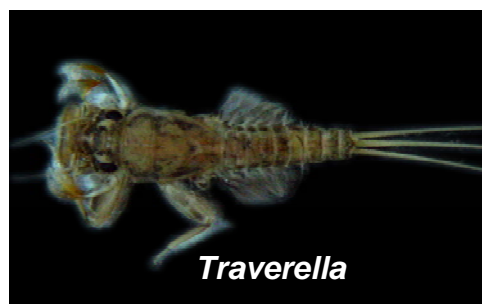
Género *Thraulodes*.

Las ninfas son malas nadadoras y pueden deslizarse sobre la superficie del agua debido al cuerpo comprimido dorsoventralmente que presentan, comúnmente se encuentran en aguas bien oxigenadas, con fondos rocosos, gravosos y arenosos y en los manchones de plantas que se localizan en el cause del río, son más abundantes en ríos que presenten profundidades que van de 90 a 180 cm, aunque pueden ocupar una amplia variedad de microhabitats.



Género *Traverella*.

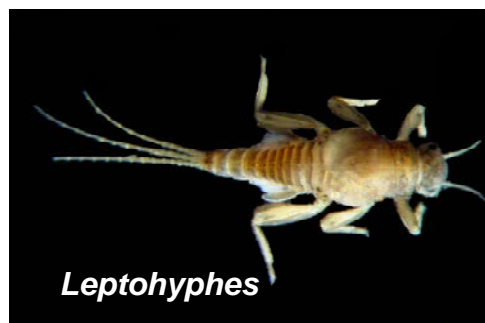
El desarrollo ninfal se lleva a cabo durante varias etapas después de las cuales emerge el adulto; la ninfa habita prácticamente en ríos medianos a grandes en los cuales se mantienen hacia los lados de las rocas, algunas veces se pueden encontrar cientos de larvas maduras en determinadas rocas esperando el momento de emerger. En los estadios larvales son malas nadadoras, pueden desplazarse hacia atrás o de un lado a otro. Durante esta etapa son filtradoras y se alimentan de algas y detritus que es arrastrado por la corriente (Edmonds *et al.*, 1979).



Familia TRICORYTHIDAE

Género *Leptohyphes*.

Estos organismos pasan por diversas etapas larvarias antes de alcanzar el estado adulto, las ninfas habitan una amplia variedad de ríos en México mientras que en Estados Unidos se localizan en grandes ríos (Edmonds *et al.*, 1979); son organismos herbívoros colectores y se adhieren a las varas, ramas, troncos, rocas y vegetación en general que se encuentre sumergida parcial o totalmente; son malas nadadoras, por lo que principalmente se arrastran o deslizan muy lentamente; este género es ampliamente distribuido en México.



Género *Tricorythodes*

El tiempo de desarrollo larval es variado, puede ser de algunas semanas hasta varios meses, dependiendo de la especie; se ha observado que a finales de primavera y principios de verano se encuentran las mayores abundancias de ninfas. Principalmente son herbívoros colectores durante estos estadios larvales, y son malas nadadoras, se desplazan principalmente por medio de movimientos ondulatorios del abdomen, preferentemente se arrastran para moverse. Las ninfas habitan ríos medianos y pequeños en los cuales se aprecia la existencia de corriente moderada con sustratos, rocosos, arenosos o con

vegetación. Incluso se localizan en ríos que se secan temporalmente, la plasticidad que presenta este género le permite tener una amplia distribución.



Orden ODONATA.

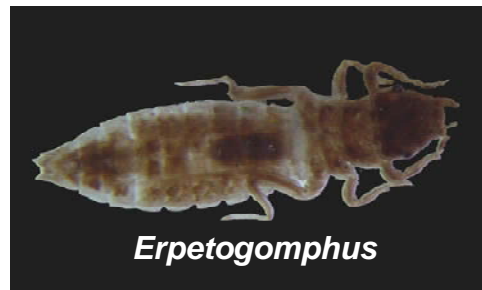
Estos insectos conservan rasgos primitivos, por lo tanto están muy diferenciados del resto de insectos. Este orden es uno de los más conocidos por los investigadores debido al tamaño que presentan las larvas y adultos. Existen algunas especies que tienen una repercusión económica ya que se alimentan de un gran número de insectos que causan plagas. Los odonatos presentan una metamorfosis completa y cuentan con diferencias estructurales entre el adulto y la larva, esta última puede presentar de 10 a 8 estadios, ocasionalmente puede presentar de 10 a 15, dependiendo de las condiciones ambientales, la reproducción de algunas especies es anual o presentar una generación cada dos, tres o cuatro años, muy pocas especies presentan dos generaciones al año, los adultos emergen en primavera, verano u otoño y sobreviven pocas semanas o algunos meses dependiendo de la especie. Los odonatos se encuentran en una amplia variedad de hábitats, de ambientes lénticos (lagos) y lóticos (ríos), pero son más comunes en lagos, márgenes de los lagos, aguas someras de ríos y arroyos, aunque existen pocas especies que se localizan en los estuarios (McCafferty y Provonsha, 1983)

Anizoptera

Familia GOMPHIDAE

Género *Erpetogomphus*.

Son de moderado tamaño y en la etapa adulta son terrestres y muestran coloraciones gris-verdoso, amarillo-verdoso, negro y café (Needham *et al.*, 2000). Las ninfas son cortas y corpulentas, pasan por diferentes estadios ninfales en ambientes acuáticos antes de llegar a la etapa adulta, se encuentran generalmente en los márgenes de los sistemas lóticos pequeños con temperatura moderada y fría además en los lénticos con depósitos de detritus en el sedimento, son capaces de hacer sus madrigueras y muestran hábitos depredatorios (Merrit y Cummins, 1996; De la Lanza *et al.*, 2000)



Género *Libellula*.

Este es el género mejor conocido, los adultos terrestres se pueden observar volando sobre los cursos de agua y lagos en la época de verano (Needham *et al.*, 2000). Las ninfas o náyades de este género pasan por diversas etapas de desarrollo antes de alcanzar la etapa adulta, durante las cuales se localizan en los sistemas acuáticos lóticos y lénticos entre el

detritus, plantas vasculares y en el sedimento; son organismos depredadores de otras larvas; intolerantes a la contaminación orgánica (De la Lanza *et al.*, 2000).



Género *Aeshna*.

El tiempo de desarrollo ninfal es variado, dependiendo de la especie; se encuentran generalmente en los márgenes de sistemas lóticos y lénticos, bajo las rocas y sobre vegetación hidrófila vascular (De la Lanza *et al.*, 2000; Needham *et al.*, 2000) los adultos presentan coloraciones (azul, café, verdes) brillantes cuando están vivos, la ninfa de este género es considerada de las más elegantes (Needham *et al.*, 2000). El cuerpo de la ninfa es alargado con una longitud de 31 - 50 mm, en las etapas ninfales maduras, se encuentran ampliamente distribuidas en México (De la Lanza *et al.*, 2000). Son grandes depredadores que se alimentan de larvas de insectos más pequeñas: dípteros, coleópteros, tricópteros y efemerópteros. (Merrit y Cummins, 1996).



Zygoptera.

Familia CALOPTERYGIDAE

Género *Hetaerina*.

Esté género cuenta con muchas especies en América Central (Westfall y May, 1996). Requieren diversas etapas larvales para llegar a la etapa adulta. Los adultos pueden ser observados volando sobre ríos y arroyos, aunque también en lagos o estanques que se encuentren cerca de un ambiente lótico. Las ninfas se encuentran en los márgenes de los sistemas lóticos entre al detritus, son organismos depredadores (Merrit y Cummins, 1996; De la Lanza *et al.*, 2000).



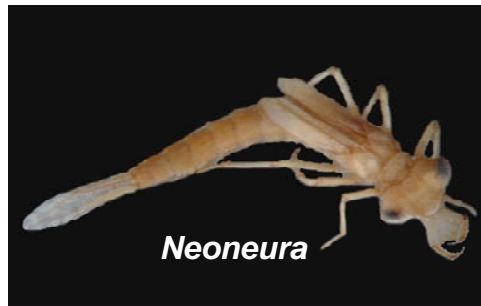
Familia PROTONEURIDAE.

Género *Neoneura*.

La etapa adulta se alcanza después de una serie de estadios ninfales, los adultos presentan un color naranja brillante o negro y generalmente se observan volando sobre las plantas que emergen de la columna de agua o flotando cerca del hábitat de las ninfas (Westfall y May, 1996). Las cuales en las etapas maduras tienen una longitud de 13 a 25 mm, se localizan en su gran mayoría en ríos y arroyos, sujetos a menudo de las rocas y

vegetación, son activos depredadores (Westfall y May, 1996; De la Lanza *et al.*, 2000).

Organismos facultativos



Familia COENAGRIONIDAE.

Género *Argia*.

Las ninfas pasan varias etapas antes de su desarrollo total, los adultos pueden ser observados en una amplia variedad de microhabitats dependiendo del área en la que se encuentren, las hembras pueden ser observadas ovopositando en masa o de forma individual. La mayoría de las especies se localizan en ambientes acuáticos con agua corriente aunque existen algunas especies que se localizan en lagos y estanques (Westfall y May, 1996). Las náyades o ninfas pueden recolectarse en las márgenes de los ambientes acuáticos lóticos y lénticos con depósitos de detritus y sobre plantas hidrófilas vasculares emergentes (De la Lanza *et al.*, 2000), se mantienen sujetas a los diferentes sustratos y son de hábito depredador (Merrit y Cummins, 1996).



Orden HEMIPTERA.

Este orden cuenta con familias acuáticas y terrestres, algunos miembros son bien conocidos debido a su gran tamaño, el adulto y la larva presentan adaptaciones similares para la sobrevivencia en ambientes acuáticos además de un estilo de vida similar.

La metamorfosis de estos individuos es incompleta, morfológicamente la larva y el adulto son similares excepto por el tamaño y las alas desarrolladas, en general presentan una generación anual, la etapa larvaria se compone por cinco estadios (instars); el crecimiento de la larva es relativamente rápido.

Las especies que habitan por debajo de la superficie del agua ocasionalmente abandonan este ambiente debido, al proceso de dispersión de los individuos o cuando son forzados a desplazarse por condiciones de sequía.

Se localizan organismos que habitan en la superficie del agua y por debajo de ella, en una amplia variedad de hábitats, aguas quietas o con corriente mínima, incluso se localizan en océano abierto, estanques de agua de desecho y otros (McCafferty y Provonsha, 1983).

Familia BELOSTOMATIDAE

Género *Belostoma*.

Género compuesto por los hemípteros gigantes, presentan una coloración castaña y cuerpo oval comprimido dorsoventralmente, patas frontales raptorales; en cuanto a la reproducción los huevos son transportados en la parte ventral del macho durante 1 - 2 semanas (Pennak, 1978; Borror *et al.* 2000). Estos organismos se mantienen en aguas poco profundas, de estanques y lagos sostenidos en diversos sustratos localizados cerca de la superficie con la punta del abdomen en contacto con el aire (Pennak, 1978), son de hábito carroñero y depredador, se alimentan de todo tipo de organismos acuáticos incluso de otros insectos (Pennak, 1978; Borror *et al.* 2000). Merrit y Cummins, (1996) mencionan que se encuentran tanto en ambientes lénticos y lóticos (en áreas de depositación) y que son nadadores activos.



Familia CORIXIDAE

Género *Graptocorixa*.

Los individuos pertenecientes a este género presentan un cuerpo ligeramente aplanado se alimentan de las plantas (jugos); las alas se encuentran sobrepuestas en la región dorsal del estomago; presentan una metamorfosis incompleta es decir son organismos paurometabolos (Brues *et al.*, 1954). Son completamente acuáticos y tanto los adultos como las ninfas son de hábitos detritívoro, herbívoro o de rapiña (Peckarsky *et al.*,

1990). Se ha visto que la especie *Graptocorixa breweri* esta restringida a la zona de tierras altas de México y probablemente es común en esta área, se tienen registros en Tasquillo, Hidalgo (Jansson, 1978).



Familia MESOVELIIDAE

Género *Mesovelia*.

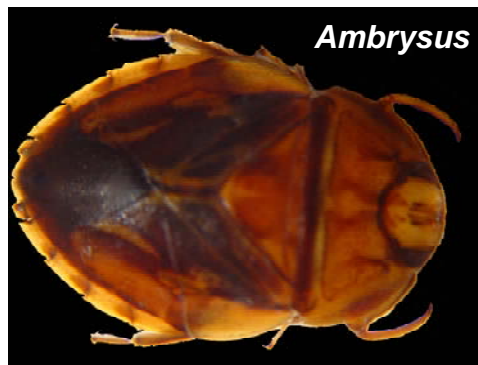
Pequeños hemípteros facultativos localizados en estanques, sobre la vegetación flotante y otros sustratos (De la Lanza *et al.*, 2000). Los adultos son usualmente ápteros (sin alas), son de hábito depredador y carroñero, se alimentan de insectos pequeños vivos y muertos (Merrit y Cummins, 1996), la hembra ovoposita los huevos fertilizados en tejidos de plantas emergentes (Pennak, 1978), la forma del cuerpo es usualmente delgado de una longitud de 2 - 4 mm en la etapa adulta; son de hábito depredador (De la Lanza *et al.*, 2000), presentan 4 estadios ninfales los cuales residen en el mismo hábitat y exhiben los mismos hábitos y estructuras que los adultos (Ward, 1992).



Familia NAUCORIDAE

Género *Ambrysus*.

Cuerpo de forma ovalada y dorsoventralmente aplanada, con una longitud corporal de 6 - 15 mm en la etapa adulta, de hábito depredador, que se encuentran en sistemas acuáticos lóticos (zona litoral con hidrófitas) y lénticos; son intolerantes a la contaminación orgánica (De la Lanza *et al.*, 2000). Los primeros 4 estadios larvales requieren de una semana, los últimos estadios de tres semanas y se presentan en los meses de mayo, junio y julio; habitan estanques lagos, pero principalmente ríos y arroyos con aguas claras bien oxigenadas; los adultos pueden ser capturados en las áreas cercanas a los ambientes acuáticos y son atraídos por la luz (Usinger, 1956).



Familia VELLIDAE

Género *Rhagovelia*.

Cuerpo usualmente corto y corpulento de 1 - 12 mm de longitud en la etapa adulta, algunos adultos presentan alas; son de hábito depredador y se encuentran en los sistemas lóticos en la zona limnética (Merrit y Cummins, 1996; De la Lanza *et al.*, 2000); intolerantes a la contaminación orgánica (de la Lanza, *et. al.*, 2000). Por su parte Pennak, (1978) menciona que los miembros de este género se localizan en los rápidos de los arroyos pequeños en donde esperan el alimento transportado por la corriente. Estos organismos pueden ser reconocidos rápidamente por la seta en forma de pluma que presenta en la hendidura del tarsos terminal de la pata de en medio, es un organismo que se encuentra consecutivamente patinando sobre la columna de agua (Nieser y Polhemus, 1999).



Orden MEGALOPTERA

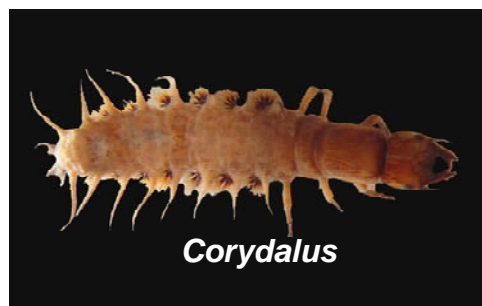
La larva de los megalópteros es principalmente acuática, aunque todos en la etapa adulta son terrestres. Las larvas de estos organismos son fáciles de reconocer debido a su gran tamaño, actividad y su naturaleza feroz. La larva es sumamente depredadora de otros insectos, por lo tanto forma una parte importante de la cadena alimenticia.

Presentan metamorfosis completa, la larva pasa por diez a once estadios y requiere de uno a tres años para alcanzar la etapa adulta. Algunos miembros pueden vivir en arroyos intermitentes por medio de una sincronización con las condiciones ambientales, además pueden vivir por un largo tiempo en arroyos secos, refugiados en camas ubicadas bajo las rocas, los adultos de la mayoría de las especies viven solamente pocos días y emergen generalmente en primavera y verano. Las larvas de la mayoría de las especies se localizan en el bentos de los arroyos y ríos asociados a una gran variedad de sustratos y tipos de corriente, algunas especies habitan en estanques y el litoral de los lagos (McCafferty y Provonsha, 1983).

Familia CORYDALIDAE

Género *Corydalus*.

Los adultos son buenos voladores pero no ágiles comparados con otros; algunos pueden llegar a tener alas con una envergadura de 13 cm, las hembras depositan sus huevos en pequeños paquetes de varios cientos de ellos cada uno, en piedras y diversos sustratos que sobresalen de la columna de agua, al emerger las larvas, estas permanecen en el ambiente acuático, se presentan en sistemas lóticos y lénticos, son de hábito depredador y se alimentan de animales acuáticos pequeños, alcanzan una longitud de 80 mm y son utilizados por los pescadores como carnada; algunas especies requieren de 2 - 3 años para alcanzar su completo desarrollo; cuando la larva madura abandona el ambiente acuático y construye una célula (refugio) pupal, en tierra húmeda y hojarasca, en la cual permanece usualmente durante 2 semanas (Ross *et al.*, 1991). En los sistemas lóticos se encuentran en las zonas erosionales y de depositación de detritus, son nadadores y depredadores activos (Merritt y Cummins, 1996).



Orden NEUROPTERA.

Los miembros de este orden son terrestres excepto la familia Sisyridae, la larva acuática es asociada con esponjas dulceacuícolas en las cuales se alimenta, este grupo es de amplia distribución en Norte América. Los neurópteros tienen metamorfosis completa y pueden tener de una a más generaciones por año; la larva presenta tres estadios antes de emerger a la etapa adulta. Las larvas se localizan en los ambientes dulceacuícolas (lagos, estanques arroyos y ríos), en áreas en donde existan esponjas de agua dulce y con corrientes moderadas a pequeñas, también pueden ser localizadas en partes de las plantas que se encuentran sumergidas en el agua o en el detritus (McCafferty y Provonsha, 1983).

Familia SISYRIDAE

Género *Sisyra*.

Las larvas de este género son acuáticas, viven y se alimentan en esponjas de agua dulce (Ross *et al.*, 1991; Merrit y Cummins, 1996), los adultos son pequeños con dos pares de alas (Ross *et al.*, 1991), aparecen en verano y probablemente viven 2 o más semanas, tienen una longitud corporal de 6 - 8 mm.

Las hembras ovopocitan en pequeñas masas sobre la vegetación emergente y diversos sustratos que sobresalen de la columna de agua, cuando emergen las larvas van al agua en la cual nadan inmediatamente; las larvas maduras miden de 4 - 6 mm de longitud son de apariencia robusta y presentan largas setas (Pennak, 1978; Ross *et al.*, 1991); es un género ampliamente distribuido pero normalmente no colectado, el estadio pupal dura menos de 14 días y presentan 2 - 3 etapas reproductivas al año (Pennak, 1978).



Orden TRICHOPTERA

El orden Trichoptera está fuertemente relacionado con el orden Lepidoptera, debido a la característica de presentar vellosidad en las alas de los adultos. La larva es acuática y a menudo representa un componente importante de la comunidad del bentos y de la cadena alimenticia en los ambientes dulceacuícolas.

Presentan una metamorfosis completa y el ciclo larval está compuesto por cinco estadios en una generación anual, aunque algunas especies pueden presentar más de una, principalmente aquellas que requieren más de un año para alcanzar la etapa adulta. Se localizan en una amplia variedad de sustratos en los sistemas acuáticos (rocas, vegetación y arena) (McCafferty y Provonsha, 1983).

Familia GLOSSOSOMATIDAE

Género *Culoptila*

Los géneros de la familia Glossosomatiadae, representativos para el biomonitoreo de acuerdo a sus hábitos bntónicos y por su presencia o ausencia, son *Glossosoma*, *Culoptila* y *Protoptila*. Las larvas presentan hasta seis estadios larvales (Houghton y Stewart, 1998) y se encuentran en sistemas lóticos con corrientes rápidas y frías, de igual forma se localizan en corrientes lentas y templadas. Las larvas presentan un cuerpo usualmente cilíndrico, con una longitud de 3-6 mm en las etapas maduras, presentan coloración café o grisácea, con setas basales en cada uña tarsal, sus refugios son construidos con partículas de rocas y minerales, son de hábito raspador. Pueden ser colectados de forma manual o con redes de golpeo, bentos, surber, etc. Se distribuyen en México, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Morelos y Veracruz. Son intolerantes a la contaminación orgánica. (De la Lanza et al., 2000).



Familia HYDROBIOSIDAE

Género *Atopsyche*.

Los adultos son terrestres y generalmente se encuentran cerca de los cuerpos de agua, en México se conocen tres especies. En los estadios larvales se encuentran en ambientes acuáticos lóticos fríos, las larvas alcanzan una longitud de hasta 22 mm, antes de la pupación, antes de pupar la larva construye su casa con pequeñas piedras, dejando pequeños espacios entre ellas por los cuales existe flujo de agua, son de hábito depredador y se encuentran sujetos a diferentes sustratos (Wiggins, 2000).



Familia HYDROPSYCHIDAE

Género *Leptonema*.

Los adultos son terrestres y generalmente se encuentran cerca de los cuerpos de agua, en México este género se encuentra ampliamente distribuido. En las etapas larvarias son de hábito filtrador (colectores) y las larvas maduras tienen una longitud de 10 – 16 mm (De la Lanza *et al.*, 2000), se encuentran en ambientes acuáticos lóticos diversos con

sustrato rocoso, las larvas son capaces de construir su casa con granos de arena y asegurarlas a las rocas (Wiggins, 2000). Organismo Facultativo.



Género *Cheumatopsyche*.

Los adultos son terrestres y generalmente se encuentran cerca de los cuerpos de agua, se encuentran ampliamente distribuidos en todos los continentes excepto en América del Sur. Las larvas se encuentran en arroyos pequeños calidos con poca corriente aunque algunas especies soportan corrientes fuertes. Algunas especies tienen dos generaciones al año. Se alimentan de microalgas y animales en descomposición (Wiggins, 2000), las larvas llegan a medir hasta 16 mm en las etapas maduras (De la Lanza *et al.*, 2000).



Familia PHILOPOTAMIDAE

Género *Chimarra*.

Los adultos son terrestres y generalmente se encuentran cerca de los cuerpos de agua, se encuentran distribuidos en las zonas tropicales y templadas ampliamente representados en México y América Central. Los estadios larvales se encuentran en arroyos pequeños con poca corriente (Wiggins, 2000), las larvas maduras miden hasta 12 mm, son capaces de construir su refugio con seda en forma de dedo en la parte baja de las rocas y de una variedad de sustratos, son de hábito colector y filtrador, son organismos intolerantes a la contaminación orgánica (De la Lanza *et al.*, 2000).

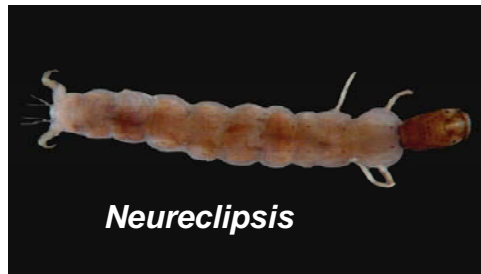


Familia POLYCENTROPODIDAE

Género *Neureclipsis*.

Los adultos son terrestres y generalmente se encuentran cercanos a los cuerpos de agua, son de áreas Holárticas. Los estadios larvales se encuentran en arroyos pequeños con poca corriente en los cuales este género forma redes de seda en las cuales captura

organismos para su alimentación, que son filtrados de la corriente de agua, principalmente zooplancton y larvas de insectos; las larvas en la etapa adulta miden hasta 21 mm (Wiggins, 2000).



Familia HYDROPTILIDAE

Género *Hydroptila*.

Los adultos son terrestres y generalmente se encuentran cerca de los cuerpos de agua, es un género de amplia distribución. Los estadios larvales se encuentran aguas con corrientes rápidas y lentas y estancadas (De la Lanza *et al.*, 2000), las larvas miden hasta 5 mm, son de hábito raspador y herbívoros, que se encuentran en hidrófilas, ramas, troncos y rocas, existen especies selectivas que se alimentan solo de diatomeas, pueden reproducirse una o más veces al año (Wiggins, 2000).



Género *Ochrotrichia*.

Los adultos son terrestres y generalmente se encuentran cerca de los cuerpos de agua, es un género de amplia distribución únicamente en el nuevo mundo. Los estadios larvales se encuentran una amplia variedad de ríos y arroyos, permanentes y temporales, las larvas miden hasta 5.5 mm, se encuentran sujetas a las rocas y otros sustratos, en los cuales se alimentan de las diatomeas adheridas al sustrato (Wiggins, 2000); construyen su refugio con seda y granos de arena, son de habito raspador y herbívoro (De la Lanza *et al.*, 2000).



Género *Leucotrichia*.

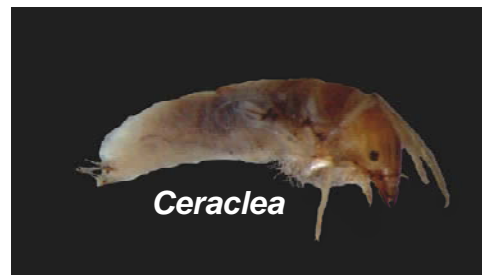
Los adultos son terrestres y generalmente se encuentran cerca de los cuerpos de agua, es un género de amplia distribución únicamente en el nuevo mundo. Los estadios larvales se encuentran una amplia variedad de ríos y arroyos, las larvas miden hasta 5.5 mm, se encuentran sujetas a las rocas y otros sustratos, en los cuales se alimentan del perifiton y finas partículas de detritus adheridas al sustrato (Wiggins, 2000); construyen su refugio con seda y de forma oval con aberturas en los extremos, son de habito raspador, colectores y herbívoros (De la Lanza *et al.*, 2000).



Familia LEPTOCERIDAE

Género *Ceraclea*.

Los adultos son terrestres y generalmente se encuentran cerca de los cuerpos de agua, es un género Holártico. Los estadios larvales se encuentran en aguas con corrientes lentas y estancadas, las larvas miden hasta 12 mm de longitud, construye su refugio únicamente con seda aunque eventualmente incorpora pequeñas partes de las esponjas con las que se puede encontrar asociada (Wiggins, 2000), generalmente están en el fondo del lecho adheridos a diversos sustratos y pueden ser colectores herbívoros y ocasionalmente depredadores (Merrit y Cummins, 1996).



Género *Nectopsyche*.

Los adultos son terrestres y generalmente se encuentran cerca de los cuerpos de agua, este es un género Neártico, restringido únicamente al nuevo mundo. Los estadios larvales se encuentran en los sustratos del fondo o plantas de aguas con corrientes lentas y estancadas, las larvas miden hasta 15 mm de longitud, construye su refugio con plantas y fragmentos de minerales, aunque algunas especies la hacen totalmente de minerales o de

diatomeas (Wiggins, 2000), pueden ser nadadoras de hábito colector, desmenuzador y depredador (Merrit y Cummins, 1996).



Orden Lepidoptera.

Este orden engloba las mariposas y las polillas dentro de las cuales existen especies acuáticas, adaptadas para vivir la mayor parte de su vida o toda como organismos inmaduros en ambientes dulceacuícolas. Estos organismos son herbívoros y comúnmente presentan fuertes asociaciones con la planta hospedera, se pueden alimentar de partes internas y externas de plantas o de la microflora asociada al sustrato. La metamorfosis es completa y el desarrollo larvario consta de cinco a siete estadios en general.

Los adultos de las especies acuáticas flotan, nadan o se arrastran en la superficie del agua, debido a la presencia de vellosidades en las patas, los adultos pueden vivir de veinticuatro horas hasta dos meses dependiendo de la especie y del sexo. Las larvas y pupas se localizan en sustratos rocosos de los ríos y en diversas partes de las plantas vasculares acuáticas (McCafferty y Provonsha, 1983).

Familia PYRALIDAE

Género *Parapoynx*.

Los miembros de este género pasan la mayor parte de su ciclo de vida como huevo, larva, pupa o imago en los ambientes acuáticos, se encuentran en los bancos de hojarasca en descomposición o en las plantas acuáticas y ocasionalmente en la superficie del agua (Wichard *et al.*, 2002), construyen casas o refugios elaboradas con partes de la planta hospedera; las larvas miden de 3 - 35 mm de longitud en la etapa madura; los adultos presentan alas usualmente con una longitud menor de 15 mm (McCafferty y Provonsha, 1983).



Género *Petrophila*.

Pocas son las especies de este género que residen en arroyos rápidos, en los cuales la larva prolonga los hilos de seda sobre las depresiones de las rocas donde reside, estos hilos de seda y las secreciones que emite el organismo, sirven para diversas funciones, una de las cuales es permitirle vivir en las corrientes rápidas presentes en los arroyos, la reproducción de algunas especies de este género se lleva a cabo en verano (Ward, 1992). Las larvas son de cuerpo robusto y ancho dorsoventralmente comprimido, con una longitud de 3 - 35 mm en las etapas maduras, son de hábitos desmenuzadores y herbívoros; habitan sistemas lóticos y lénticos con aguas bien oxigenadas; son intolerantes a la contaminación orgánica (de la Lanza, et. al., 2000).



Orden Coleoptera

Los escarabajos son un grupo muy diverso con aproximadamente 30,000 especies conocidas en norte América, de los cuales cerca de 1,000 especies son acuáticas y semiacuáticas, las cuales pertenecen a tres subórdenes, **Adephaga** (5 familias), **Myxophaga** (1 familia) y **Polyphaga** (17 familias). Como resultado de la diversificación de los insectos se tienen familias completas de coleópteros que son principalmente acuáticas mientras que otras familias cuentan con solo algunas especies acuáticas.

En la actualidad este grupo tiene gran atención por los investigadores, sin embargo las larvas de las especies acuáticas son pobremente conocidas, aunque se sabe que algunas especies en los ríos y arroyos son excelentes indicadores de calidad del agua.

Estos organismos cuentan con una metamorfosis completa y presentan diferencias morfológicas entre el adulto y la larva, normalmente las larvas presentan tres estadios larvales y una generación al año, la pupación es comúnmente terrestre la cual ocasionalmente inicia cuando disminuye el nivel de la columna de agua y en la estación seca. La larvas y adultos de los coleópteros se presentan en una amplia variedad de ambientes acuáticos y semiacuáticos (en el bentos, vegetación emergente, en la superficie del agua, en el área marginal del nivel del agua, etc.) (McCafferty y Provonsha, 1983).

Familia DRYOPIDAE

Género *Helichus*.

En Norte América es uno de los géneros más grandes, Los adultos miden de 2 – 8 mm., de longitud y su cuerpo esta cubierto por pubescencia (vellosidad); se alimentan de la membrana de las algas (desmenuzadores y herbívoros) que crecen en las rocas y diversos sustratos en los arroyos, es un género altamente modificado (Pennak, 1978); se encuentran en la zona erosional de los sistemas lóticos (Merrit y Cummins, 1996); son intolerantes a la contaminación orgánica (De la Lanza *et al.*, 2000); los adultos se presentan ampliamente en los rápidos o rabiones, la larva es más de ambientes terrestres que acuáticos (Brown, 1970; Bertrand, 1972), y dependiendo de la especie el tiempo de desarrollo es diverso, *H. suturalis* requiere de 2 -3 años; *H. productus*, requiere de 4 -5 años (Brown, 1987).

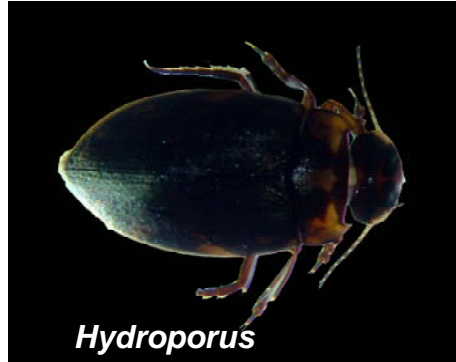


Familia DYTISCIDAE

Género *Hydroporus*.

Es un género pobremente adaptado para la natación; aunque los miembros de la familia Dytiscidae, son voraces carnívoros en sus hábitos, *Hydroporus*, tiende a ser de hábitos carroñeros pues se alimenta de animales muertos (Pennak, 1978) y depredador,

aunque no muy efectivos pues los usaron como control biológico de la población de mosquitos y esta no se vio afectada significativamente (Lundkvist *et al.*, 2003).



Género *Oreodytes*

Habita en sistemas lóticos con corrientes rápidas, bien oxigenadas, se encuentran bajo las piedras (Usinger, 1956); los adultos de algunas especies de este género son pequeños y globulares, son muy activos pero malos nadadores, tienden a nadar en tramos cortos y pegados al sustrato, incluso dejan la columna de agua para volar en distancias cortas antes de reintroducirse al agua; estos organismos constantemente van a la superficie para respirar; en los arroyos se encuentran en microhabitats con un flujo de agua bajo (Lancaster, 1999).



Género *Rhantus*.

Es un género con distribución mundial amplia de los coleópteros, en México se presentan 4 especies: *R. calidus*, *R. atricolor*, *R. anisonychus* y *R. gutticollis* (Zimmerman y Smith, 1975), habitan en aguas poco profundas con corrientes rápidas de ríos y arroyos (Usinger, 1956), en las plantas marginales de los estanques, áreas pantanosas y arroyos; los adultos miden de 10 - 16 mm de longitud y muestran una coloración entre amarillo y café (Zimmerman y Smith, 1975).



Familia ELMIDAE

Género *Stenelmis*.

Las larvas son de hábito colector y desmenuzador se encuentran entre las rocas de los sistemas lóticos con aguas bien oxigenadas y muestran intolerancia a la contaminación orgánica (De la Lanza *et al.*, 2000); el adulto y la larva se alimentan principalmente de detritus, aunque también se alimentan de algas verdes y diatomeas las cuales constituyen un componente de su dieta; hábitos, detritívoro-herbívoro (Seagle, 1982).



Género *Heterelmis*

El adulto presenta un cuerpo de forma oval moderadamente convexo; son de hábitos colectores y desmenuzadores, se presentan en sistemas lóticos con aguas bien oxigenadas, entre las rocas; son intolerantes a la contaminación orgánica (De la Lanza *et al.*, 2000). El adulto tiene una longitud corporal de 2.3 - 2.6 mm; el cuerpo es de forma ovoide y alargada moderadamente o fuertemente convexo; la larva es completamente acuática de hábito detritívoro, se alimenta de detritus, algas y leña saturada de agua; la pupación ocurre en pequeñas capsulas de arena que realiza en las áreas protegidas de los diversos sustratos localizados en el agua; algunos adultos que se sumergen puede que no retornen a la superficie nunca y quizás vivan más de un año, los adultos viven y se alimentan en los mismos habitats que las larvas y muestran hábitos alimenticios iguales (Arizona Game and Fish Department, 2001).



Género *Microcylloepus*.

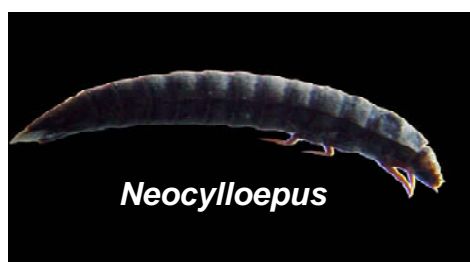
El adulto tiene una longitud corporal de 1.4 – 2.4 mm., son de hábitos colectores y desmenuzadores; se presentan en sistemas lóticos con aguas bien oxigenadas, entre las rocas (Usinger, 1956; De la Lanza *et al.*, 2000) y una amplia diversidad de sustratos

naturales sumergidos: piedras, gravas, troncos y hojas en descomposición, raíces y hojas de plantas acuáticas presentes en los márgenes de los ríos (Arias *et al.*, 2004); son intolerantes a la contaminación orgánica (De la Lanza *et al.*, 2000) en las primeras etapas larvarias presentan meso y metapleura en las últimas etapas presentan segmentaciones pro, meso y metapleura (Usinger, 1956).



Género *Neocylloepus*.

Este género se encuentra restringido a fondos arenosos de lugares con abundante materia vegetal particulada (Arias *et al.*, 2004)



Género *Phanocerus*.

Los miembros de este género no son organismos acuáticos verdaderos, se pueden encontrar a lo largo del litoral de los arroyos, entran al agua solo de forma accidental o cuando se disponen a ovopositar; son de hábitos herbívoros y detritívoros (Pennak, 1978). El adulto tiene el cuerpo cubierto por setas moderadamente largas y tienen una longitud corporal de 2 – 4 mm.; las larvas tienen el cuerpo dorsoventralmente aplanados y muestran una coloración café o traslucida; son de hábito colector y desmenuzador; se encuentran entre las rocas en los sistemas acuáticos lóticos con aguas bien oxigenadas; son intolerantes a la contaminación orgánica (De la Lanza *et al.*, 2000).



Familia HALIPLIDAE

Género *Peltodytes*.

Las larvas presentan en cada segmento del cuerpo 2 o más espinas erectas y segmentadas en forma de filamentos; son de hábitos desmenuzadores, herbívoros y depredadores, ocurren en hábitats lénticos y lóticos entre las hidrofítas vasculares; son organismos facultativos (De la Lanza *et al.*, 2000). La reproducción de algunas especies

correspondientes a este género ocurre a principios de la primavera, los huevos fertilizados son depositados sobre la vegetación acuática (Pennak, 1978).



Familia HYDROPHILIDAE

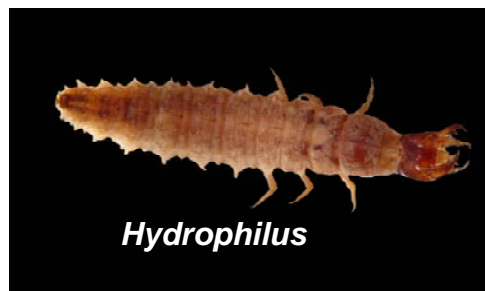
Género *Berosus*.

Wilson (1923) observó organismos pertenecientes a este género alimentándose únicamente de algas filamentosas vivas; son de hábitos colectores, desmenuzadores y herbívoros, habitan sistemas lénticos en la zona litoral y lóticos en la zona de depositación (Merrit y Cummins, 1996). Son buenos nadadores y pueden permanecer sumergidos pues es capaz de obtener el oxígeno necesario del medio acuático a través de 7 pares de agallas abdominales traqueales; la ovoposición ocurre en primavera e inicio de verano; los adultos pueden ser recolectados en primavera con la ayuda de lámparas pues son atraídos por la luz (Pennak, 1978).



Género *Hydrophilus*.

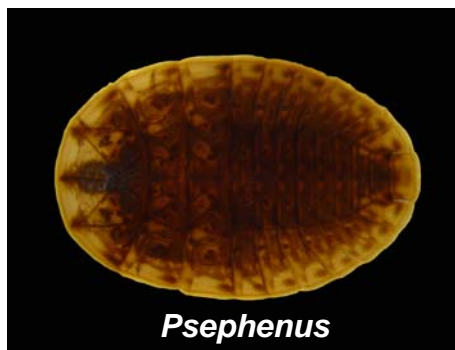
Las larvas son de hábitos predadores, colectores, herbívoros, habitan en los sistemas lénticos en la zona litoral y lóticos en la zona de depositacion (Merrit y Cummins, 1996). La forma del cuerpo del adulto es oval y convexo, son de hábitos carroñeros; los adultos pueden ser reconocidos por su antena corta y ensanchada en el extremo y la presencia de los largos palpos maxilares; la función del nado lo realiza mediante el movimiento alternado de las patas; la larva es muy voraz y se alimenta de toda clase de animales acuáticos (Borror *et al.*, 2000). Los adultos pueden ser recolectados fácilmente en primavera e inicios del verano, época en la cual se reproducen (Pennak, 1978).



Familia PSEPHENIDAE

Género *Psephenus*.

Las larvas son exclusivamente acuáticas, se desarrollan en las corrientes rápidas de los ríos y arroyos de agua clara, sobre rocas, troncos, ramas, y hojas que se encuentran sumergidos, así como en las márgenes de los lagos; la forma del cuerpo es oval comprimida dorsoventralmente con cabeza, patas y branquias ocultas bajo los escleritos pleurales. Las pupas y los adultos generalmente son terrestres; los adultos se encuentran en las rocas y vegetación que se desarrollo sobre el litoral de los ríos y arroyos (Arce-Pérez y Shepard, 2001) con excepción de las de Psephenoidinae que suelen encontrarse frecuentemente bajo el agua (Spangler, 1982; Lee y Jäch, 1995).



Orden Diptera

Este orden conformado por los moscos verdaderos (2 alas), es uno de los órdenes más diversos que incluye a las familias que son principalmente acuáticas en la etapa larvaria, debido a las adaptaciones que presentan para este ambiente. Los adultos son terrestres aunque frecuentan la superficie y área marginal del agua. Algunas de las especies tienen gran importancia ya que son vectores de enfermedades que provocan pestes.

La metamorfosis es completa y la morfología y hábitats de los adultos y las larvas son diferentes, la etapa larvaria consta de tres o cuatro estadios. Las larvas pueden ser recolectadas en una amplia variedad de hábitats acuáticos (ríos, lagos profundos y someros, litoral marino, aguas de desecho, entre otros) (McCafferty y Provonsha, 1983).

Familia CERATOPOGONIDAE

Género *Probezzia*.

Los adultos son terrestres y generalmente se encuentran cerca de los cuerpos de agua, este las hembras de este género depositan sus huevos en masas gelatinosas de 1- 3 mm de diámetro en la cual permanecen durante 2 - 3 días; las larvas se adhieren en las algas enrollándose en ellas; el periodo de pupa de algunas especies dura 3 - 4 días posteriormente emergen; son de hábito detritívoro (Johannsen, 1977).

De la Lanza, *et al.*, (2000), mencionan que las larvas son acuáticas de cuerpo delgado y cilíndrico, con una longitud de 2 - 15 mm en las etapas maduras, además que son de hábito depredador y nadadores; se presentan en las aguas con corrientes bajas aledañas al área litoral y en lagos en la zona limnética, son tolerantes a la contaminación orgánica (Merrit y Cummins, 1996; De la Lanza *et al.*, 2000).



Familia EMPIDIDAE

Género *Clinocera*.

Los adultos son terrestres y se localizan en verano, cerca de los ríos de los cuales emergen; las larvas tienen una serie de estadios mediante los cuales alcanzan su desarrollo, la pupa mide 4 mm de longitud, habitan ríos de corrientes bajas y rápidas (De la Lanza *et al.*, 2000). Egglisshaw, (1969) menciona que las larvas se encuentran sobre las rocas libres de musgo.



Género *Hemerodramia*.

Los adultos son terrestres y se localizan en áreas cercanas a los ambientes dulceacuícolas. Las larvas presentan un cuerpo grueso y cilíndrico que alcanzan una longitud de 2 - 7 mm. En la etapa madura característica presentan 7 pares de propatas ventrales abdominales; son de hábito depredador y colector. Habitan ambientes acuáticos lóticos en los cuales son localizados en el detritus. Son tolerantes a la contaminación orgánica. (Merrit y Cummins, 1996; De la Lanza *et al.*, 2000). Las pupas de algunas especies ocurren en el verano, e invierno en aguas estancadas (Johannsen, 1977).



pupa



larva

Familia MUSCIDAE

Género *Limnophora*.

Los adultos son terrestres, se presentan en áreas cercanas los ambientes acuáticos. Las larvas y pupas son acuáticas y están asociadas con camas o masas de musgo, presentes ríos, pequeñas caídas de agua y en las orillas de los lagos (Merrit y Wotton, 1988; Skidmore, 1985). Durante los estadios inmaduros presentan hábitos carnívoros, alimentándose de oligoquetos, quironomidos y otros dípteros; la ovoposición se realiza sobre el musgo húmedo, en algunas especies los adultos emergen en mayo (Merrit y Wotton, 1988). Este generó es depredador y tolerante a la contaminación orgánica (De la Lanza *et al.*, 2000).



Familia SIMULIDAE

Género *Simulium*.

En la etapa adulta son terrestres y permanecen cerca de los ambientes acuáticos. Las larvas de algunas especies miden de 6 - 8 mm de longitud en las etapas maduras; pueden ser localizados en ríos y arroyos con corrientes moderadas y rápidas, adheridos a diversos sustratos como: rocas, troncos, etc., que se encuentran sumergidos (Johannsen, 1977). Los estadios inmaduros de este género alcanzan una longitud de 3 - 12 mm, son de hábito filtrador e intolerantes a la contaminación orgánica (De la Lanza *et al.*, 2000).



pupa



larva

Familia ESTRATIOMYIDAE

Género *Odontomyia*.

En la etapa adulta son terrestres y permanecen cerca de los ambientes acuáticos. Los estadios inmaduros presentan varias etapas de desarrollo, pueden ser colectadas en la zona litoral de los estanques, área en la cual se alimentan de materia vegetal y otros microorganismos en descomposición (organismos saprófagos). Las larvas maduras miden de 15 - 30 mm de longitud en las etapas maduras (Johannsen, 1977).



Familia TABANIDAE

Género *Chrysops*.

En la etapa adulta son terrestres y permanecen cerca de los ambientes acuáticos. Los estadios larvales son saprófagos es decir se alimentan de materia orgánica en descomposición, contenida en los sedimentos; se encuentran en los márgenes lodosos de pantanos, estanques y charcos (Johannsen, 1977). El cuerpo de las larvas maduras mide de 11 - 55 mm de longitud, se encuentran en sistemas lóticos y lénticos y son tolerantes a la contaminación orgánica (De la Lanza *et al.*, 2000). Este género está restringido a ambientes con sustrato arenoso (Ward, 1992).



Género *Tabanus*.

En la etapa adulta son terrestres y permanecen cerca de los ambientes acuáticos. La larva es de hábitos carnívoros y se alimenta de oligoquetos, gasterópodos y otras larvas de insectos, el canibalismo es común en este género. Se localizan en lagos, estanques y aguas con muy poca corriente (Johannsen, 1977). Las larvas miden de 11 - 55 mm de longitud en las etapas maduras, y se localizan en el área litoral de los ambientes dulceacuícolas; son tolerantes a la contaminación orgánica (De la Lanza *et al.*, 2000; Merrit y Cummins, 1996). Este género está restringido a ambientes con sustrato arenoso (Ward, 1992).

