

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

**ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE MACROINVERTEBRADOS
ACUÁTICOS A ESCALA DETALLADA EN LA ECORREGIÓN
LACHUÁ, COBÁN, ALTA VERAPAZ.**

Informe de Tesis

Presentado por

PAVEL ERNESTO GARCÍA SOTO

Para optar al título de

Biólogo

Guatemala, mayo de 2008

Junta Directiva

Oscar Cobar Pinto, Ph. D	Decano
Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto	Secretario
Licda. Lillian Raquel Irving Antillón, M.A.	Vocal I
Licda. Liliana Vides de Urizar	Vocal II
Licda. Beatriz Eugenia Batres de Jiménez	Vocal III
Br. Mariesmeralda Arriaga Monterroso	Vocal IV
Br. José Juan Vega Pérez	Vocal V

Dedicatoria

A mi madre, Priscila García Soto. Gracias por enseñarme a seguir siempre el camino correcto, gracias por permitirme y alentarme a siempre seguir mis sueños. Y el cartón se lo doy completito no solo la mitad.

Agradecimientos

A Claudio Méndez por su asesoría y apoyo en el desarrollo de esta investigación.

A Rosa Alicia Jiménez por su eterna amistad y contribución en el desarrollo de este documento.

A Juan Quiñónez, Erwin Choc y Paulino por su valiosa ayuda en la toma de datos en el campo.

A Maura Quezada por darme espacio para trabajar en el laboratorio de TODOS y siempre tener una actitud positiva y alegre.

A Chevere, Cristian, Fátima, Gustavo, Gandhi por su amistad, entusiasmo y apoyo a seguir a delante.

A todos los anteriores y a quienes se me pasó mencionar y colaboraron en la realización de esta investigación

Gracias

INDICE

1. Resumen	3
2. Introducción	4
3. Antecedentes	7
3.1 Los macroinvertebrados acuáticos	7
3.2 Hábitats de los macroinvertebrados acuáticos	7
3.3 Características de las variables ambientales que afectan la distribución de los macroinvertebrados acuáticos a pequeña escala	8
3.4 Uso de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua	10
3.5 Descripción del área de estudio	12
3.5.1 Parque Nacional Laguna Lachuá -PNLL-	12
3.5.2 Clima	13
3.5.3 Características fisicoquímicas y Biológicas de los Ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán	13
3.5.4 Macroinvertebrados presentes en los ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán	14
4. Justificación	16
5. Objetivos	17
6. Hipótesis	18
7. Materiales y Métodos	19
7.1 Diseño experimental	19
7.2 Medios	20
7.3 Procedimiento y Métodos	21
7.4 Análisis estadístico	23
8. Resultados	25
8.1 Características fisicoquímicas de los sitios de estudio	25
8.2 Composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos	28
8.3 Clasificación y ordenación de los ensambles de	

	macroinvertebrados acuáticos en los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc	32
9.	Discusión	40
	9.1 Características físicoquímicas de los sitios de estudio	40
	9.2 Composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos	41
	9.3 Clasificación y ordenación de los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos de los Ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc	42
	9.4 Distribución de los macroinvertebrados acuáticos con respecto a la velocidad e la corriente y la profundidad	44
	9.5 Monitoreo de los cuerpos de agua de la ecorregión Lachuá	46
10.	Conclusiones	50
11.	Recomendaciones	51
12.	Referencias	52
13.	Anexos	59

1. RESUMEN

El objetivo principal del presente estudio fue evaluar que características fisicoquímicas se encuentran correlacionadas con la distribución de los macroinvertebrados acuáticos y cuales de ellas explican su distribución en nivel de microhábitat, en los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc del Parque Nacional Laguna Lachuá, Alta Verapaz, Guatemala. En cada río se recorrieron secciones de 100 a 200 metros, donde se realizaron arrastres con una red en D de un minuto sobre acumulaciones de materia orgánica. En cada punto de toma de muestra se midió la conductividad eléctrica, la salinidad, total de sólidos disueltos, pH, temperatura, velocidad de la corriente y profundidad en la columna de agua.

En base a los análisis estadísticos, se determinó que la composición taxonómica de los ensambles de macroinvertebrados del río Peyán se diferenciaron en un 50 por ciento de la composición taxonómica de los ensambles presentes en los ríos Tzetoc y Lachuá, debido principalmente a la mayor concentración de sales y menor temperatura y menor concentración de oxígeno existente en el río Peyán. Las diferencias en la distribución de los macroinvertebrados dentro de una misma sección de río se vieron correlacionadas con la variación de la velocidad de la corriente y con los valores de pH. A pesar de las diferencias en la composición taxonómica, se estableció que la composición de los grupos funcionales alimenticios es similar en estos ríos, la cual se encuentra marcadamente dominada por los colectores-recogedores en más de un 70%.

2. INTRODUCCIÓN

La ecorregión Lachuá corresponde a uno de los últimos remanentes de bosques tropicales lluviosos del norte de Guatemala. Esta área fue declarada sitio RAMSAR en el año 2006. La ecorregión se encuentra constituida por el Parque Nacional Laguna Lachuá (PNLL) y su zona de influencia, donde todo en conjunto es un mosaico de hábitats definidos recientemente según el uso antropogénico de la tierra (Ficha RAMSAR, 2004).

En la ecorregión se han desarrollado varias actividades de investigación con el objeto de establecer como este cambio en el paisaje influye en los patrones de distribución de la biodiversidad de la región. Estas investigaciones han sido impulsadas por el Programa de Investigación y Monitoreo de la ecorregión Lachuá (PIMEL) de la Escuela de Biología-USAC y el Instituto Nacional de Bosques (INAB).

Dentro de las líneas de investigación impulsadas para el área se encuentra el monitoreo de la calidad del agua para la diversidad biológica. Para el desarrollo de este monitoreo se busca implementar un instrumento económico, práctico y confiable. A partir de esto se han iniciado estudios con macroinvertebrados para explorar su potencial como indicadores biológicos de perturbaciones en los ríos de la ecorregión.

Si se estudia como se distribuyen los macroinvertebrados acuáticos a nivel de la Ecorregión Lachuá, se estarían estudiando sus patrones de distribución a una escala espacial grande. A esta escala espacial las diferencias en la distribución están dadas por características fisicoquímicas como cantidad de nutrientes, acidez del agua y la concentración de oxígeno, sales y solutos disueltos (Wetzel, 2001; Williams y Felmate, 1992; Fenoglio *et al.*, 2004).

A una escala espacial menor, sería en la parte media del río o en la orilla del mismo. Este tipo de distribución espacial de los macroinvertebrados se atribuye a

diferencias en cuanto al flujo del agua (velocidad de la corriente y profundidad en la columna de agua), sustrato y elementos bióticos como lo son la competencia y la depredación (Alba-Tercedor y Jiménez, 1978; Zimmerman, 1993; Fenoglio *et al.*, 2004).

Se ha encontrado que los patrones de distribución a pequeñas escalas influyen los patrones de distribución regionales (Heino *et al.*, 2003). Es por esto que si se quiere estudiar y monitorear los patrones de distribución de los macroinvertebrados acuáticos en la ecorregión Lachuá, se hace necesario conocer primero cómo se correlacionan las variables ambientales que actúan a nivel de hábitats puntuales. Con el conocimiento de estas fuentes de variación se podrá posteriormente desarrollar un experimento de trayectoria (monitoreo) diseñado para segregar esta variación.

En la presente investigación se evaluó que variables fisicoquímicas se encuentran correlacionadas con la distribución de los macroinvertebrados acuáticos en los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc de la Ecorregión Lachuá. Siendo así un aporte al conocimiento de la ecología de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en Guatemala y Centro América. El objetivo de este experimento fue evaluar qué características fisicoquímicas se encuentran correlacionadas con la distribución de los macroinvertebrados acuáticos a una escala detallada.

Para lograr este objetivo se colectaron muestras de macroinvertebrados en los ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán, entre el 8 y 10 de junio del 2007. En cada sitio se capturaron los macroinvertebrados acuáticos asociados al sustrato de materia orgánica por medio de arrastres con una red en D y se midieron parámetros fisicoquímicos para su correlación posterior. Los parámetros fisicoquímicos medidos fueron: velocidad de la corriente, profundidad en la columna de agua, concentración de oxígeno, conductividad, salinidad, total de sólidos disueltos, pH y temperatura del agua.

En base a los análisis estadísticos de clasificación y ordenación realizados, se determinó que la composición taxonómica de los ensambles de macroinvertebrados del río Peyán se diferenció en un 50 por ciento de la composición taxonómica de los ensambles presentes en los ríos Tzetoc y Lachuá. Estas diferencias en la composición taxonómica se correlacionaron con las diferencias presentadas existentes en los ríos debido a las variables ambientales salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Las diferencias en la distribución de los macroinvertebrados dentro de una misma sección de río se vieron correlacionadas con la variación de la velocidad de la corriente y con los valores de pH. También se estableció que a pesar de las diferencias en la composición taxonómica, se estableció que la composición de los grupos funcionales alimenticios es similar en estos ríos, la cual se encuentra marcadamente dominada por los colectores-recogedores en más de un 70%, similar a lo observado en otros ríos de Centro América (Ramirez y Pringle, 1998; Fenoglio *et al.* 2003).

3. ANTECEDENTES

3.1 Los macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados según Merritts y Cummins (1996) son aquellos organismos invertebrados mayores a 2 mm; Roldan (1996) los define como aquellos organismos invertebrados con un tamaño mayor a 0.5 mm de longitud. Ambos autores coinciden en que el grupo esta integrado por aquellos organismos visibles a simple vista. Para esta investigación se tomará como macroinvertebrados acuáticos a aquellos organismos mayores a 2 mm que son visibles a simple vista.

Los invertebrados acuáticos que cumplen con la anterior condición pertenecen a los Phyla: Coelenterata, Platyhelminthes, Annelida, Mollusca y Arthropoda. La mayor diversidad de macroinvertebrados acuáticos se encuentra en el Phylum Arthropoda, específicamente en la Clase Insecta. De la Clase Insecta se encuentran como ordenes representativos a: Trichoptera, Plecoptera, Ephemeroptera, Coleoptera, Megaloptera, Hemiptera, Diptera y Odonata (Merritts y Cummins, 1996; Mandaville, 2002; Rosenberg *et al.*, 1997).

3.2 Hábitats de los macroinvertebrados acuáticos

Los hábitats pueden clasificarse en base a características físicas y químicas del ambiente que actúan a diferentes escalas espaciales y temporales. Por ejemplo, los hábitats se pueden clasificar en el sentido mas amplio según su estabilidad en el espacio y tiempo en: a) hábitats permanentes, b) hábitats temporales y c) hábitats artificiales o construidos por el hombre. (Williams y Felmate, 1992)

Los macroinvertebrados acuáticos se encuentran distribuidos en diferentes ambientes, desde aguas litorales como esteros hasta aguas interiores como ríos y lagunas. A este nivel la distribución de los macroinvertebrados acuáticos se puede

estudiar como una escala espacial regional, donde las diferencias en la distribución están dadas por características fisicoquímicas como cantidad de nutrientes, acidez del agua y la concentración de oxígeno, sales y solutos disueltos (Wetzel, 2001; Williams y Felmate, 1992; Fenoglio *et al.*, 2004).

A una escala menor, como entre la orilla de un río y el centro de un río o la otra orilla, la distribución espacial de los macroinvertebrados se atribuye a diferencias en cuanto al flujo del agua (velocidad de la corriente y profundidad en la columna de agua), sustrato y elementos bióticos como lo son la competencia y la depredación (Alba-Tercedor y Jiménez, 1978; Zimmerman, 1993; Fenoglio *et al.*, 2004).

3.3 Características de las variables ambientales que afectan la distribución de los macroinvertebrados acuáticos a pequeña escala

3.3.1 Flujo de Agua

El flujo de agua es un factor muy importante en la distribución de los macroinvertebrados bentónicos a escalas espaciales pequeñas (Fenoglio *et al.*, 2004). El flujo de agua es una variable fundamental en la distribución de los organismos acuáticos debido a que afecta la dispersión, uso de hábitat, adquisición de recursos, la competencia y las interacciones presa - depredador (Fig. 1).

La velocidad de la corriente influye en los patrones de distribución de los organismos, desde el momento en que afecta el tamaño de partículas del sustrato que se depositan, distribuye las fuentes de alimento y afecta las concentraciones de oxígeno en el agua. Por lo tanto afecta las formas anatómicas y en el comportamiento de los organismos. Como resultado de esto la corriente de agua es un factor importante en el análisis de los patrones ecológicos de los macroinvertebrados acuáticos y por tanto en la segregación de las especies (Allan, 1995; Hart y Finell, 1999).

Procesos ecológicos afectados por el flujo de agua

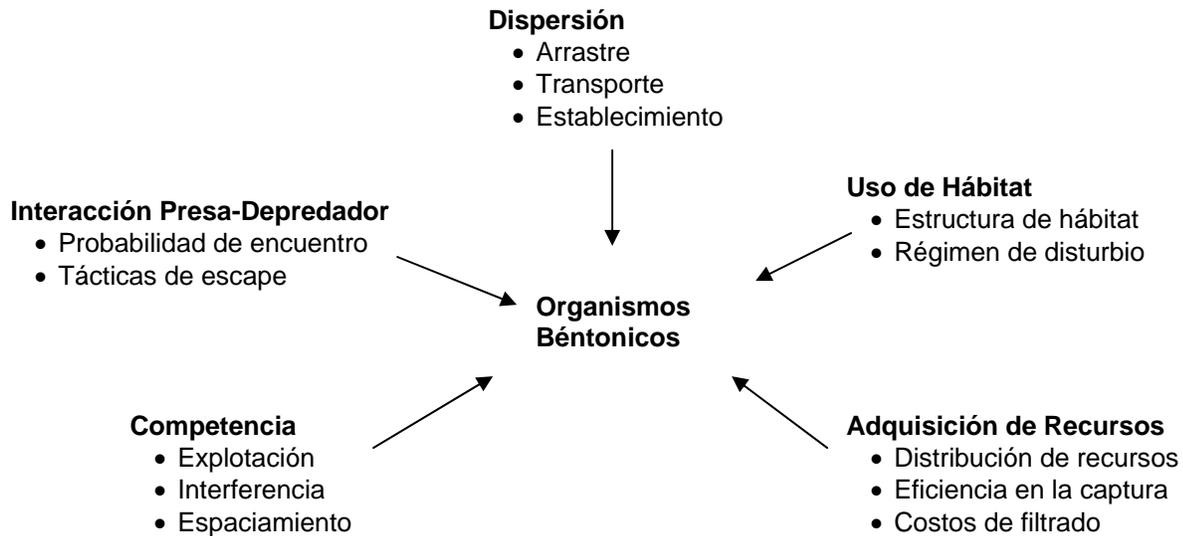


Figura 1. Caminos causales alternativos por los cuales el flujo puede afectar organismos benthónicos. Los componentes dominantes de cada proceso ecológico se pueden modificar por el flujo, de tal modo que afectan el funcionamiento, la distribución y la abundancia de organismos. Tomado de Hart y Finell (1999).

3.3.2 Sustrato en los ríos

La mayor parte de los macroinvertebrados acuáticos viven en el fondo, asociados al sustrato, ya que no son buenos nadadores. Se asocian al sustrato para no ser arrastrados a la deriva. Los sustratos de un río se han clasificado de forma general en arenas y sedimentos, gravas, piedras y materia orgánica o vegetal (Wetzel, 2001; Merritts y Cummins, 1996; Williams y Felmate, 1992). Otros autores como Heino *et al.* (2003) los han clasificado según el tamaño de la partícula (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación del sustrato de los ríos (Heino *et al.*, 2003)

No.	Partícula	Diámetro (mm)
0	Materia orgánica	-----
1	Arena	0.25-2
2	Grava fina	2-6
3	Grava gruesa	6-16
4	Guijarro pequeño	16-32
5	Guijarro largo	32-64
6	Piedras pequeñas	62-128
7	Piedras grandes	128-256
8	Rocas	256-400
9	Rocas grandes y del lecho	>400

La diversidad de macroinvertebrados acuáticos se ha correlacionado con el sustrato y se ha encontrado una fuerte interrelación (Gurtz y Wallace, 1984; Collier y Wilcock, 1998; Heino *et al.*, 2003); de todos los sustratos el que tiene la mayor diversidad es el sustrato orgánico. En los ríos neotropicales la mayor parte de vida se encuentra asociada al sustrato orgánico, donde existe la mayor disposición de nutrientes. Los sustratos compuestos por arenas, gravas y piedras son más pobres debido a la rápida asimilación que existe de los nutrientes en estos ecosistemas (Wetzel, 2001; Alan, 1995; Williams y Felmate, 1992).

3.4 Uso de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua

La calidad del agua se ha determinado utilizando principalmente las mediciones de parámetros fisicoquímicos, entre estos parámetros se pueden mencionar: aporte de nutrientes (nitrógeno, fósforo), turbidez, temperatura, pH, total de sólidos disueltos (TDS), conductividad, oxígeno disuelto, dureza y alcalinidad. Estos análisis tienen la desventaja de ponderar la calidad del agua de una forma instantánea. Como consecuencia no se registran las perturbaciones y disturbios ocurridos días antes de la toma de datos fisicoquímicos.

Los elementos bióticos de los cuerpos de agua, al contrario de los parámetros fisicoquímicos, no se recuperan de una forma rápida después de un vertido o perturbación de su entorno, aún cuando los valores de los parámetros

fisicoquímicos hayan vuelto a la normalidad (Alba-Tercedor, 1996; Alonso y Camargo, 2005).

Algunos autores proponen la utilización de la mayor información posible que pueda obtenerse de un sistema hídrico, esto involucra información fisicoquímica e información biológica (Rosenberg *et al.* 1997). La información biológica que puede obtenerse de un sistema hídrico consiste en los patrones de diversidad de los organismos que habitan estos sistemas. Por ejemplo diatomeas, macroinvertebrados acuáticos, macrófitas acuáticas y peces (Alba-Tercedor, 1996; Alonso y Camargo, 2005) debido a que existe una relación entre su distribución y las características fisicoquímicas de su entorno, ya que fisiológicamente solo pueden vivir en ciertos rangos de los parámetros fisicoquímicos.

A partir del conocimiento de las condiciones en que se distribuyen los macroinvertebrados acuáticos se han desarrollado diversos índices biológicos de calidad del agua como:

El índice Biótico de Familias -IBF- desarrollado para Norteamérica (Mandaville, 2002).

El índice Biological Monitoring Working Party -BMWP- desarrollado en Inglaterra (Mandaville, 2002), es uno de los más populares ya que es cualitativo. Ha sido modificado para la Península Ibérica (Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega, 1988) y para Colombia por Roldan (2006). Se evalúa la posibilidad de adaptarlo para la Ecorregión Lachuá (VanTuylen, *et al.* 2006)

El índice Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera -EPT- entre otros.

Los índices anteriores son construidos a partir de la asignación de valores de tolerancia a cada taxón. La asignación de valores de tolerancia se logra conociendo y midiendo las condiciones en donde habita cada taxón.

El análisis y estudio de que recursos explotan los macroinvertebrados acuáticos en su alimentación, ha llevado a la categorización de estos dentro de grupos

funcionales alimenticios. Estos grupos se encuentran basados en los mecanismos de alimentación y rango del tamaño de las partículas que ingieren. Teniendo las categorías de colector, filtrador, desmenuzador, depredador y raspador (Williams y Felmate, 1992).

El desarrollo del conocimiento de los grupos funcionales alimenticios ha llevado al desarrollo y uso de índices como: "*Ratio of Shredder Functional Feeding Group and Total Number of Individuals Collectes*" debido a que el grupo de los desmenuzadores son altamente afectados por los pesticidas y los herbicidas (Mandaville, 2002).

3.5 Descripción del área de estudio

Los ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán son ríos permanentes que se encuentran en la SubCuenca del Río Icbolay. Los tres ríos nacen dentro del Parque Nacional Laguna Lachuá -PNLL-. El río Peyán es el único afluente superficial permanente de la laguna Lachuá, y los ríos Tzetoc y Lachuá son los dos ríos que drenan de forma permanente la laguna.

3.5.1 Parque Nacional Laguna Lachuá (PNLL)

El PNLL se encuentra ubicado en el municipio de Cobán, Alta Verapaz, en la Franja Transversal del Norte (FTN) a 173 msnm. El PNLL y su zona de amortiguamiento conforman el sitio conocido como Ecorregión Lachuá, que en el año 2006 fue declarado Sitio RAMSAR.

El PNLL se remonta al año 1974, año en el que se delimitó un polígono de 10,000 hectáreas de bosque tropical por el Instituto Nacional de Transformación Agraria (INTA), con el estatus de reserva natural no susceptible a colonización, con el objetivo de proteger la belleza escénica de la laguna Lachuá (Monzón, 1999). El

PNLL es reconocido oficialmente como área protegida en el Acuerdo No. 110-96, reforma a la ley de Áreas Protegidas 4-89.

La zona de amortiguamiento del PNLL presenta 44 asentamientos humanos, con 12,500 habitantes aproximadamente, que en su mayoría son pertenecientes a la etnia Q`eqchi. Diecinueve de estas comunidades colindan con el PNLL; 73.33 % de estas comunidades se estima que son de origen reciente, teniendo como causa el proceso migratorio de los años 70 y 80`s (Ficha Ramsar, 2004).

La Ecorregión Lachuá pertenece a la región Biogeográfica Petén-Veracruz, dentro de los criterios de CONABIO-WWF (Ficha Ramsar, 2004). Siguiendo la clasificación de Miranda (1978) la vegetación de la Ecorregión Lachuá, que en parte corresponde al arco húmedo, corresponde a Selva Alta Perennifolia con especies como *Terminalia* y *Vochysia*. Esta clasificación coincide con la composición arbórea reportada para el PNLL por García (2006a).

La zona se caracteriza geológicamente por poseer en su mayoría rocas sedimentarias de origen marino y terrestre. Sedimentos correspondientes al cretácico, terciario superior y cuaternario (Ficha Ramsar, 2004).

3.5.2 Clima

La precipitación anual promedio reportada para el área es de 3300 mm. Los reportes indican que las lluvias se registran todo el año. Los meses de mayor precipitación van de junio a noviembre. La menor precipitación (época seca) se registra en los meses de febrero a abril. La humedad va de 90 a 95 % y la temperatura promedio es de 30 °C, temperaturas máximas 41 °C y mínima de 15°C (MAGA y CATIE- ESPREDE, 2001).

La provincia climática según Thorwaite es: cálida, muy húmeda, con invierno benigno y sin estación seca definida. (MAGA y CATIE-ESPRED, 2001; Granados, 2001; CONAP *et al.*, 2004).

3.5.3 Características fisicoquímicas y biológicas de los Ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán

En el año 2006 se ejecutó la primera fase de la investigación: “Evaluación de un método alternativo para medir la calidad del agua con indicadores biológicos y fisicoquímicos en el Parque Nacional Laguna Lachuá (PNLL) y su Zona de Influencia, Cobán, Alta Verapaz”. La primera fase consistió en la caracterización fisiográfica, fisicoquímica y biológica de los cuerpos de agua (macroinvertebrados). Esta caracterización se realizó en 11 estaciones ubicadas en el curso de los tres ríos (VanTuylen *et al.*, 2006).

Se puede describir a los ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán como ríos de aguas básicas; con alto contenido de carbonatos y sulfatos debido al origen cárstico de los suelos del área. El alto contenido de sales le confirió una alta conductividad, normal para agua duras. La temperatura de las aguas de estos ríos oscila entre los 23.5 a los 29°C. La concentración de nutrientes (Anexo 2) tiende a ser bastante baja, por lo que se clasifica el estado trófico de estos ríos como oligotrófico (VanTuylen *et al.*, 2006).

Los lechos de estos ríos se pueden subdividir en general en dos tipos de sustratos según la Cuadro #1. Un primer sustrato caracterizado por presentar partículas del tamaño de gravas finas y arenas. Un segundo sustrato donde el lecho está compuesto por rocas grandes en forma de lajas. Sobre estos sustratos se acumula, en pequeñas áreas, materia orgánica como lo son ramas, trozos de hojas y detritos.

La mayor parte de macroinvertebrados acuáticos se encuentran en los puntos donde se acumula la materia orgánica, tanto en las áreas con arena y grava como en las áreas donde predominan las rocas grandes, debido a una mayor disponibilidad de recursos alimenticios. Además en las áreas donde el lecho del río esta compuesto principalmente por rocas grandes, estas tienden a ser lisas, lo que proporciona muy pocas áreas de sujeción para los macroinvertebrados y que provoca que sean arrastrados y dispersados.

3.5.4 Macroinvertebrados presentes en los Ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán

Para la ecorregión Lachuá se han colectado y clasificado un total de 72 morfoespecies de macroinvertebrados acuáticos comprendidas dentro de un total de 4 Phyla, 6 Clases, 17 Órdenes y 46 Familias (Anexo 3). Las colectas se han realizado en los ríos Lachuá, Tzetoc y Peyán de diciembre del 2005 a junio del 2006 (VanTuylen, 2006; García, 2006b; VanTuylen *et al.*, 2006).

Las investigaciones realizadas con macroinvertebrados en esta área han tenido como objetivo el analizar el potencial uso de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de los cambios en la calidad del agua en los ríos, debido al cambio en el uso de la tierra. La distribución de los macroinvertebrados acuáticos no se ha correlacionado con parámetros fisicoquímicos del agua en estos ríos, ya que los parámetros medidos no presentaron un amplio rango de variación. Sin embargo se observaron diferencias en la composición y abundancias de los macroinvertebrados acuáticos entre los sitios de estudio. Estas diferencias se atribuyen a variaciones de microhábitats (García, 2006b; VanTuylen *et al.*, 2006).

4. JUSTIFICACIÓN

La escuela de Biología desde 1998 ha desarrollado el programa de investigaciones de trayectoria en la Ecorregión Lachuá (Sitio RAMSAR desde 2006) lo que llevó a la acreditación de la unidad de investigación “Programa de Investigación y Monitoreo de la Ecorregión Lachuá” -PIMEL- (Acta No. 16-2004, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia). Dentro de la unidad de investigación PIMEL se encuentra el objetivo de desarrollar monitoreo limnológico para la evaluación de la calidad del agua y la biodiversidad del sistema hídrico de la ecorregión Lachuá. Actualmente el desarrollo de investigaciones de caracterización y evaluación de los cuerpos de agua de la ecorregión toman mayor importancia debido a que este sitio es un humedal reconocido como sitio RAMSAR.

El objetivo del monitoreo de los cuerpos de agua en la ecorregión Lachuá es medir la variación que existe en la distribución de los macroinvertebrados acuáticos debido a las perturbaciones antrópicas, como es la contaminación orgánica. Para lograr esto debemos conocer cuales son las variaciones naturales en la distribución de los macroinvertebrados acuáticos, con lo cual se podrá diseñar un experimento de trayectoria donde la fuente de variación en la distribución de los macroinvertebrados acuáticos solo sea la contaminación orgánica de los ríos. Debido a lo cual el desarrollo de esta investigación dentro del Parque Nacional Laguna Lachuá contribuye al conocimiento las variaciones naturales en la distribución de los macroinvertebrados acuáticos.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

- Contribuir a la formulación de un programa de monitoreo de la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua de la Ecorregión Lachuá, utilizando macroinvertebrados como indicadores biológicos.

5.2 Objetivos Específicos

- Evaluar que características fisicoquímicas del agua, como velocidad de la corriente, profundidad en la columna de agua y temperatura, se encuentran correlacionadas con la distribución de los macroinvertebrados acuáticos.
- Evaluar la distribución de los macroinvertebrados acuáticos a escala detallada.

6. HIPÓTESIS

En los ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán la distribución de los macroinvertebrados sobre el sustrato orgánico se encuentra correlacionada con la velocidad de la corriente y la profundidad en la columna de agua.

7. MATERIALES Y METODOS

7.1 Diseño Experimental

El universo de trabajo: estuvo constituido por todos los individuos de las especies de macroinvertebrados acuáticos presentes en el Parque Nacional Laguna Lachuá, específicamente en las secciones estudiadas de los ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán (Cuadro 2).

Cuadro 2. Coordenadas de ubicación de los sitios de colecta de macroinvertebrados acuáticos.

Coordenadas UTM, Datum Nad		Nombre
27, zona 15P		
Este	Norte	
749854	1759920	Río Tzetoc
751156	1761634	Río Lachuá
748579	1759356	Río Peyán

Experimento

Con el fin de evaluar como la velocidad de la corriente y la profundidad en la columna de agua afectan la distribución de los macroinvertebrados bentónicos en los ríos a escala de microhábitat. Se colectaron los macroinvertebrados acuáticos presentes sobre materia orgánica (sustrato constante) en diferentes combinaciones de velocidad de la corriente y profundidad (Tratamientos). Para que el experimento tuviera replicación se realizo esto en tres ríos.

Unidad Experimental

29 sitios que se distribuyeron en los ríos Lachuá, Tzetoc y Peyán; teniendo 10, 10 y 9 respectivamente.

Variabes Independientes: velocidad de la corriente y profundidad en la columna de agua.

VARIABLES dependientes (respuesta): Distribución y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos.

7.2 Medios

Materiales

- Botes plásticos para almacenamiento de las muestras
- Alcohol etílico 95%
- Glicerina
- Bolsas de nylon
- Cinta de marcaje
- Cinta métrica 50 m
- Libreta de campo
- Lápices
- Hojas carta de papel bond
- Marcadores indelebles
- Hojas de papel libre de ácido para elaboración de etiquetas
- Gasolina

Equipo

- Bandejas blancas
- Agujas de disección
- Cajas de petri
- Estereoscopio
- Pinzas entomológicas
- Micropipetas plásticas
- Red en "D"
- GPS Garmin ETrex Legend
- Multímetro portátil Hach Sension Tm 156 ($\pm 2\%$ de error)
- Cinta métrica
- Molinete para medir la velocidad de la corriente
- Lancha

- Claves dicotómicas para determinación de macroinvertebrados acuáticos
- Computadora genérica

Recursos humanos

- Revisora de Tesis: MSc. Lucía Prado
- Asesor de Tesis: Lic. Claudio Méndez
- Tesista: Pavel Ernesto García
- Asistente de Campo: Guarda recursos PNLL

Recursos institucionales

- Estación Biológica ubicada en la Aldea Santa Lucía Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. Programa de Investigación y Monitoreo de la Ecorregión Lachuá (PIMEL), Escuela de Biología, USAC
- Estación de Guarda Recursos ubicada en el Parque Nacional Laguna Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. Instituto Nacional de Bosques (INAB)
- Equipo de bodega y laboratorios Escuela de Biología, USAC

7.3 Procedimiento y Métodos

7.3.1 Trabajo de campo

La colecta se realizó entre el 8 de junio y el 10 de junio del año 2007 para minimizar la variación temporal en la distribución de los macroinvertebrados acuáticos. Los parámetros fisicoquímicos fueron medidos para cada una de las unidades experimentales. A cada sitio se le asignó un código, en el cual se utilizaron letras para referirse al río en el que se tomó la colecta y la numeración es correlativa al número de colecta (Cuadro 2, Figura 2).

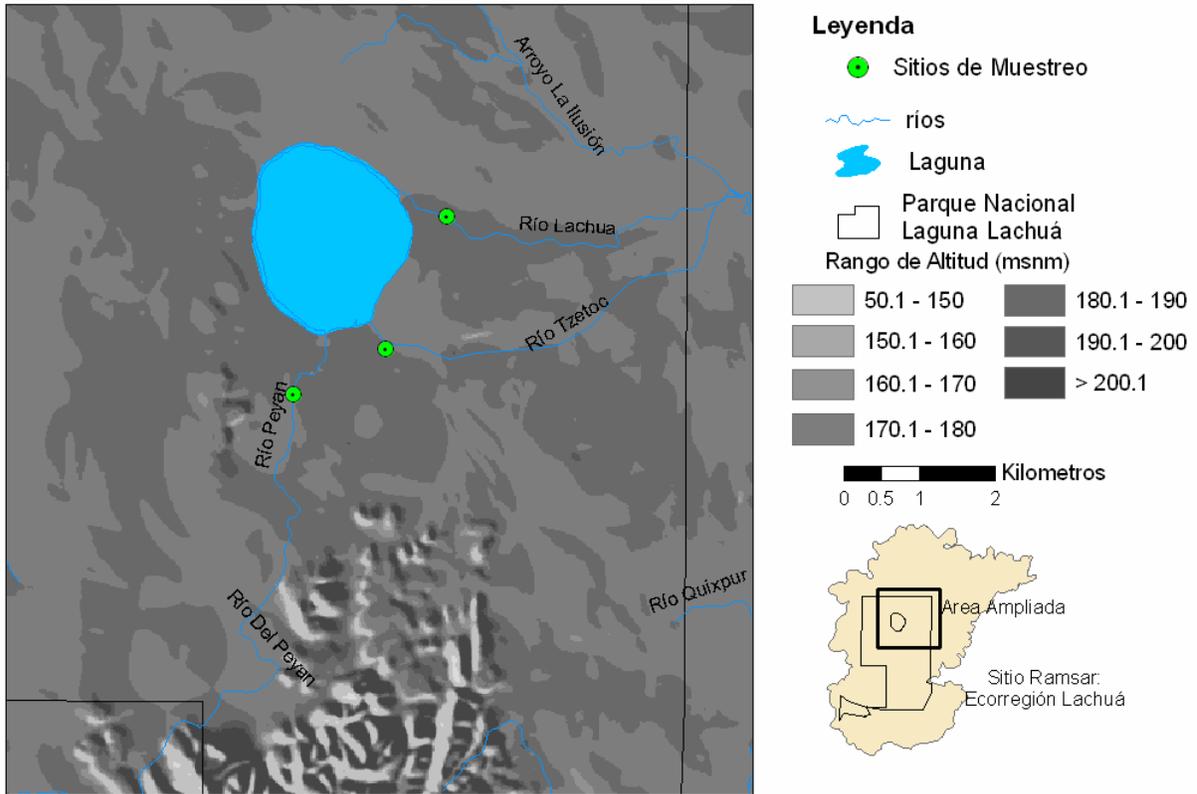


Figura 2. Mapa del Parque Nacional Laguna Lachúa con la ubicación de los sitios de colecta.

Toma de parámetros fisicoquímicos:

En cada uno de las unidades experimentales donde se realizó la colecta de muestra se midieron de forma *in situ*: la velocidad de la corriente, la profundidad, temperatura, pH, total de sólidos disueltos (TDS) o salinidad, conductividad, oxígeno disuelto. Los últimos 5 parámetros se midieron con un multímetro portátil Hach Sension Tm 156 \pm 2% de error.

Muestreo de macroinvertebrados acuáticos:

Para la colecta se utilizó una red en “D” siguiendo la metodología de McCafferty (1981) modificada. Cada unidad muestral consistió en un arrastre de un minuto, con el fin de estandarizar el esfuerzo. Con cada arrastre se removió el fondo en

dirección contraria al flujo del agua del río (McCafferty, 1981, Edwards, *et al.* 1998; Beatty *et al.* 2003).

7.3.2 Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio consistió en dos actividades: separación de especímenes y determinación taxonómica.

Limpieza y separación de especímenes:

Las muestras se encontraban con tierra y hojarasca por lo que fue necesario extraer los especímenes colectados. Esto se realizó vertiendo las muestras en bandejas blancas, donde se separaron los organismos colectados y se guardaron en frascos plásticos con alcohol etílico al 95%.

Determinación taxonómica de especímenes:

Los especímenes colectados fueron determinados mediante claves taxonómicas hasta el nivel taxonómico posible según lo permitió la literatura disponible (Edmunds *et al.*, 1976; Merritts y Cummins, 1996; Wiersema y McCafferty, 2000; Posada y Roldan, 2003), luego se almacenaron en viales con una solución de alcohol-glicerina (9:1). Los especímenes se depositaron en el Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

7.4 Análisis estadístico

Se utilizó estadística descriptiva para evaluar las riquezas y abundancias de los macroinvertebrados de las unidades experimentales. De la misma manera se evaluaron las variables fisicoquímicas.

Para la clasificación y ordenación de los datos, se realizaron Análisis de agrupamiento jerárquico y el Análisis de correspondencia (CA por sus siglas en inglés). Para la realización de estos análisis se utilizaron las abundancias relativas de cada taxa en cada muestra (Legendre y Legendre, 1998; McGarigal *et al.*, 2000).

El análisis de agrupamiento jerárquico, es una técnica jerárquica aglomerativa que analiza las muestras en forma individual para unir las sucesivamente en grupos de tamaño creciente, hasta que todas las muestras se encuentran en un sólo grupo (Legendre y Legendre, 1998; McGarigal *et al.*, 2000).

El análisis de correspondencia (CA), es una técnica de ordenación indirecta en la que los gradientes ambientales son inferidos a partir de los datos de las especies (Legendre y Legendre, 1998; McGarigal *et al.*, 2000).

La relación entre características fisicoquímicas y la distribución de los macroinvertebrados se determinó mediante un Análisis Canónico de Correspondencia (CCA por sus siglas en inglés). El CCA es una técnica de ordenación directa y representa además un caso especial de regresión múltiple donde la composición de especies es directamente relacionada con las variables ambientales (Legendre y Legendre, 1998; McGarigal *et al.*, 2000). Por medio de este análisis se combinan dos matrices de datos y se produce un ordenamiento en el espacio de los elementos, basado en las variables de ambas matrices (Legendre y Legendre, 1998; McGarigal *et al.*, 2000). En este caso se ordenaron las muestras en base a las características fisicoquímicas tomadas en los sitios de colecta y las abundancias de macroinvertebrados acuáticos para cada muestra.

8. Resultados

8.1 Características fisicoquímicas de los sitios de estudio

Al comparar los valores de los parámetros fisicoquímicos entre los ríos se nota que la conductividad y la salinidad son mayores en el río Peyán que en los ríos Tzetoc y Lachuá. La conductividad en el río Peyán se encuentra entre los 1198 a los 1256 μSiemes (μS), mientras que en los ríos Tzetoc y Lachuá no supera los 1094 μS . El total de sólidos disueltos en el río Peyán es de 591 partes por millón (ppm), mientras que en los ríos Tzetoc y Lachuá es inferior a 538 ppm. Estas diferencias se resumen en que la salinidad del río Peyán es de 0.6 ‰ mientras que la salinidad de los ríos Tzetoc y Lachuá es de 0.5 ‰ aproximadamente. La temperatura es otro factor físico que se diferencia entre el Peyán y los otros dos ríos, solo que en forma inversa, la temperatura del agua del río Peyán es mucho menor (Cuadro 3, Figuras 3 a la 5).

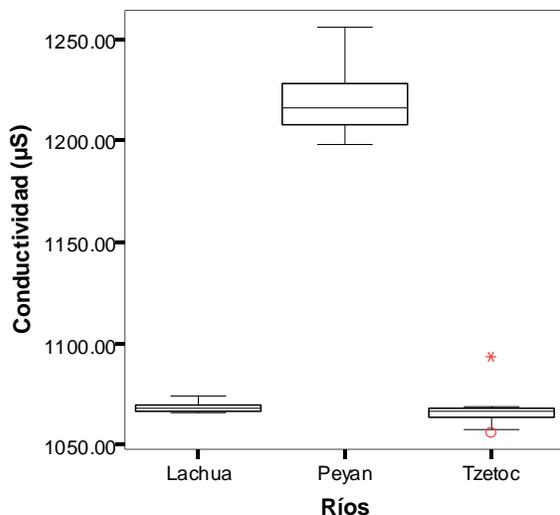


Figura 3. Diagrama de cajas de Tukey para los valores de conductividad en las muestras de los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc.

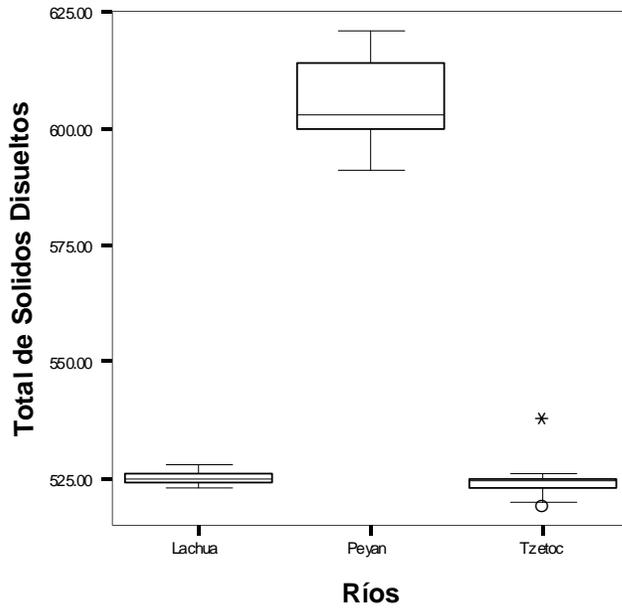


Figura 4. Diagrama de cajas de Tukey para los valores de total de sólidos disueltos en las muestras de los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc.

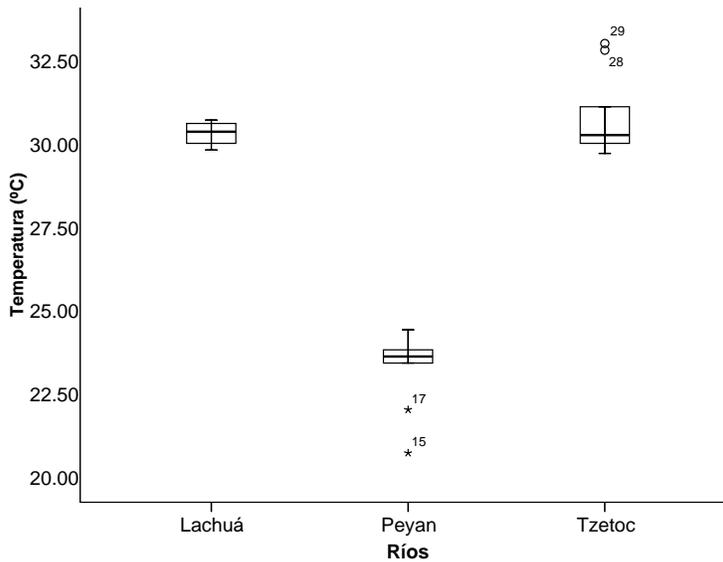


Figura 5. Diagrama de cajas de Tukey para los valores de temperatura de las muestras tomadas en los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc.

En el río Lachuá los rangos de velocidad de la corriente van de los 0.129 a 0.638 m/s. En el río Tzetoc la velocidad de la corriente vario entre 0.080 a 0.588 m/s. Y en el río Peyán la velocidad del flujo de agua se encontró entre los 0.198 a 0.415 m/s; en este río también se tuvieron muestras con velocidades de corriente igual a

0 m/s debido a que eran remansos que se forman en el río y el agua queda prácticamente estancada, estos sitios representan una condición mas similar a los cuerpos lenticos. Es de mencionar que solo en las muestras con velocidades de la corriente igual a cero se tuvieron pH ácidos. Unido a esto se encuentran los valores de oxígeno disuelto en el agua, en general en los tres ríos se encontraron áreas con altas concentraciones de oxígeno (>50%), con excepción de los sitios donde la velocidad de la corriente era menor a 0.25 m/s (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de los parámetros fisicoquímicas medidos en los sitios de colecta de macroinvertebrados acuáticos en los río Lachuá, Peyán y Tzetoc.

Río	Sitios	pH	T. (°C)	OD (%)	Sal (‰)	TSD (ppm)	Cond. (µS)	P (cm)	V (m/s)
Lachuá	lach1	8.134	29.8	81.3	0.528	528	1074	63	0.570
	lach2	8.382	30	84	0.526	526	1070	76.5	0.238
	lach3	8.593	30	79.8	0.526	526	1069	140	0.129
	lach4	8.513	30.3	100	0.525	525	1067	72.5	0.207
	lach5	8.317	30.3	100	0.525	525	1067	40.5	0.489
	lach6	8.390	30.4	84.4	0.527	527	1072	53.4	0.310
	lach7	8.488	30.6	123.8	0.524	524	1066	74.4	0.446
	lach8	8.405	30.7	100	0.523	523	1069	23.5	0.533
	lach9	8.446	30.6	100	0.525	525	1068	16	0.638
	lach10	8.530	30.6	94.7	0.524	524	1066	16.5	0.545
Peyán	peyan1	8.652	23.8	95.5	0.6	600	1216	61.8	0.269
	peyan2	8.410	24.4	28.4	0.591	591	1198	69.5	0.229
	peyan3	8.153	23.6	63.8	0.614	614	1204	47.5	0.198
	peyan4	6.475	23.5	32.6	0.596	596	1208	0	0.000
	peyan5	5.542	20.7	59	0.614	614	1243	0	0.000
	peyan6	8.664	23.4	54.1	0.606	606	1228	86.5	0.409
	peyan7	7.045	22	33.4	0.621	621	1256	0	0.000
	peyan8	8.549	23.6	34.47	0.603	603	1221	84.5	0.220
	peyan9	7.938	24	26.7	0.6	600	1216	47	0.415
Tzetoc	tzetoc1	9.129	29.7	112.3	0.525	525	1067	45	0.292
	tzetoc2	9.645	29.8	88.3	0.525	525	1068	71.8	0.211
	tzetoc3	9.670	30	102.3	0.525	525	1067	72	0.420
	tzetoc4	8.949	30	92.9	0.526	526	1069	38.5	0.588
	tzetoc5	8.264	30.2	105	0.524	524	1066	81	0.104
	tzetoc6	8.588	30.3	89.5	0.524	524	1065	38.7	0.148
	tzetoc7	8.403	30.4	104.9	0.523	523	1064	48.7	0.420
	tzetoc8	7.602	31.1	90.8	0.538	538	1094	73	0.242
	tzetoc9	8.759	32.8	22.6	0.519	519	1056	89.5	0.080
	tzetoc10	9.196	33	13.7	0.52	520	1058	43.7	0.201

Para cada muestras se tomaron valores de pH, temperatura (T. °C), Oxígeno disuelto (OD %), salinidad (Sal), conductividad (Cond. µS), Total de sólidos disueltos (TDS ppm), profundidad (P cm) y velocidad de la corriente (V m/s). Se describe en que condición de sustrato se colectó la muestra: materia orgánica acumulada sobre vegetación sumergida (a), materia orgánica acumulada sobre arena (b) y materia orgánica acumulada sobre rocas (c).

8.2 Composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos

Se colectaron 4,101 organismos, los cuales se encuentran distribuidos en 63 taxa (Cuadro 4). De estos el 96.8 % pertenecen a la Clase Insecta, por tanto es el componente dominante de la fauna bentónica del área estudiada. Los órdenes Coleoptera, Ephemeroptera, Tricoptera, Diptera y Odonata son los que presentan una mayor riqueza taxonómica. En estos órdenes se registraron 14, 11, 9, 9 y 8 morfoespecies respectivamente.

Cuadro 4. Listado taxanómico de especímenes colectados en los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc; y Grupo Funcional Alimenticio (GFA) al que pertenecen.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxa	GFA				
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida		Haplotaxida sp	Cg				
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i> sp	Cg				
				<i>Baetodes</i> sp	Sc				
				<i>Epeorus</i> sp	Cg				
				<i>Thraulodes</i> sp	Cg				
				<i>Farrodes</i> sp	----				
				<i>Traverrella</i> sp	CF				
				<i>Leptohyphes</i> sp	Cg				
				<i>Vacupernius</i> sp	Cg				
				<i>Asioplax</i> sp	Cg				
				<i>Tricorythodes</i> sp	Cg				
				<i>Caenis</i> sp	CgSh				
				Odonata				<i>Agriogomphus</i> sp	P
								<i>Neocordulia</i> sp	P
								<i>Hataerina</i> sp	P
		<i>Neoneura</i> sp	P						
		<i>Argia</i> sp	P						
		<i>Telebasis</i> sp	P						
		<i>Palaemnema</i> sp	P						
		<i>Heteragrion</i> sp	P						
		<i>Anacroneuria</i> sp	P						
		<i>Corydalus</i> sp	P						
		Plecoptera				<i>Cryphocricos</i> sp	P		
						<i>Ambrysus</i> sp	P		
		Megaloptera				<i>Heterelmis</i> sp	Cg		
						<i>Hexacylloepus</i> sp	Cg		
		Hemiptera				<i>Hexacylloepus</i> sp	Cg		
<i>Hexacylloepus</i> sp	Cg								
Coloptera				<i>Hexacylloepus</i> sp	Cg				
				<i>Hexacylloepus</i> sp	Cg				

Cg= colector-recogedor; Cf= colector-filtrador; Sh= Desmenuzador; P= depredador; Sc= raspador; F= Filtrador

Continúa Cuadro 4. Listado taxanómico de especímenes colectados en los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc; y Grupo Funcional Alimenticio (GFA) al que pertenecen.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxa	GFA		
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	<i>Cylloepus sp</i>	Cg		
				<i>Mycrocylloepus sp</i>	Cg		
				<i>Phanocerus sp</i>	Cg		
				Elmidae sp1	Cg		
				Elmidae sp2	Cg		
				Elmidae sp3	Cg		
				Haliplidae	<i>Haliplidae sp</i>	Sh	
				Ptilodactilidae	<i>Ptilodactilidae sp</i>	Sc	
				Hidrophilidae	<i>Hidrophilidae sp</i>	P	
				Gyrinidae	<i>Gyrinus sp</i>	P	
				Scirtidae	<i>Scirtidae sp</i>	----	
				Dryopidae	<i>Pelonomus sp</i>	Sh	
				Tricoptera	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche sp</i>	Sc
					Calamoceratidae	<i>Phylloicus sp</i>	Sh
					Hydropsychidae	<i>Leptonema sp</i>	Cf
						<i>Smicridea sp</i>	Cf
					Hydroptilidae	<i>Zumatrichia sp</i>	Cg
					Leptoceridae	<i>Oecetis sp</i>	P
		Philopotamidae	<i>Chimarra sp</i>		Cf		
		Polycentropodidae	<i>Polypectropus sp</i>		P		
			<i>Polycentropus sp</i>		P		
		Lepidoptera	Pyralidae		Pyralidae sp	Sc	
		Diptera	Chironomidae	Chironomidae sp1	Cg		
				Chironomidae sp2	Cg		
				Cerapotogonidae	<i>Probezzia sp</i>	P	
				Stratiomidae	Stratiomidae sp	Cg	
				Simulidae	<i>Simulium sp</i>	F	
				Tipulidae	<i>Hexatoma sp</i>	P	
					<i>Triogma sp</i>	Sh	
				Empididae	Empididae sp	P	
				Arachnoidea	Acari	Acari sp	P
					Crustacea	Decapoda	Decapada sp1(Camarones)
Pseudothelphusidae	Decapada sp2(Cangrejos)	Sh					
Amphipoda spp	Amphipoda sp	----					
Mollusca	Gatropoda	Bivalvia	Crustaceo spp	Sh			
			Gastropoda sp	Sc			
			Bivalvia sp	F			

Cg= colector-recogedor; Cf= colector-filtrador; Sh= Desmenuzador; P= depredador; Sc= raspador; F= Filtrador

Al analizar las unidades experimentales de cada río como un conjunto tenemos que: en el río Lachuá se colectaron 895 especímenes pertenecientes a 35 taxa diferentes; en promedio se colectaron 11.2 taxa por unidad experimental con un mínimo de 6 y un máximo de 16 taxa. La media de abundancia por unidad

experimental fue de 89.5 especímenes en el río Lachuá. En el río Tzetoc se colectaron 1692 especímenes distribuidos en 38 taxa; La media de riqueza por unidad experimental fue de 15.2; el mínimo fue de 11 taxa y el máximo fue de 19 taxa. La abundancia media de organismos en el río Tzetoc fue de 169.2 especímenes por unidad. En el río Peyán se capturaron 1514 especímenes pertenecientes a 44 taxa; siendo el río en donde se obtuvo la mayor riqueza. La media de riqueza por unidad experimental fue de 16; se tuvo un mínimo de 9 taxa y un máximo de 25 taxa entre las unidades experimentales; la abundancia media en el río Peyán fue de 168.2 individuos (Figura 6, Cuadro 5).

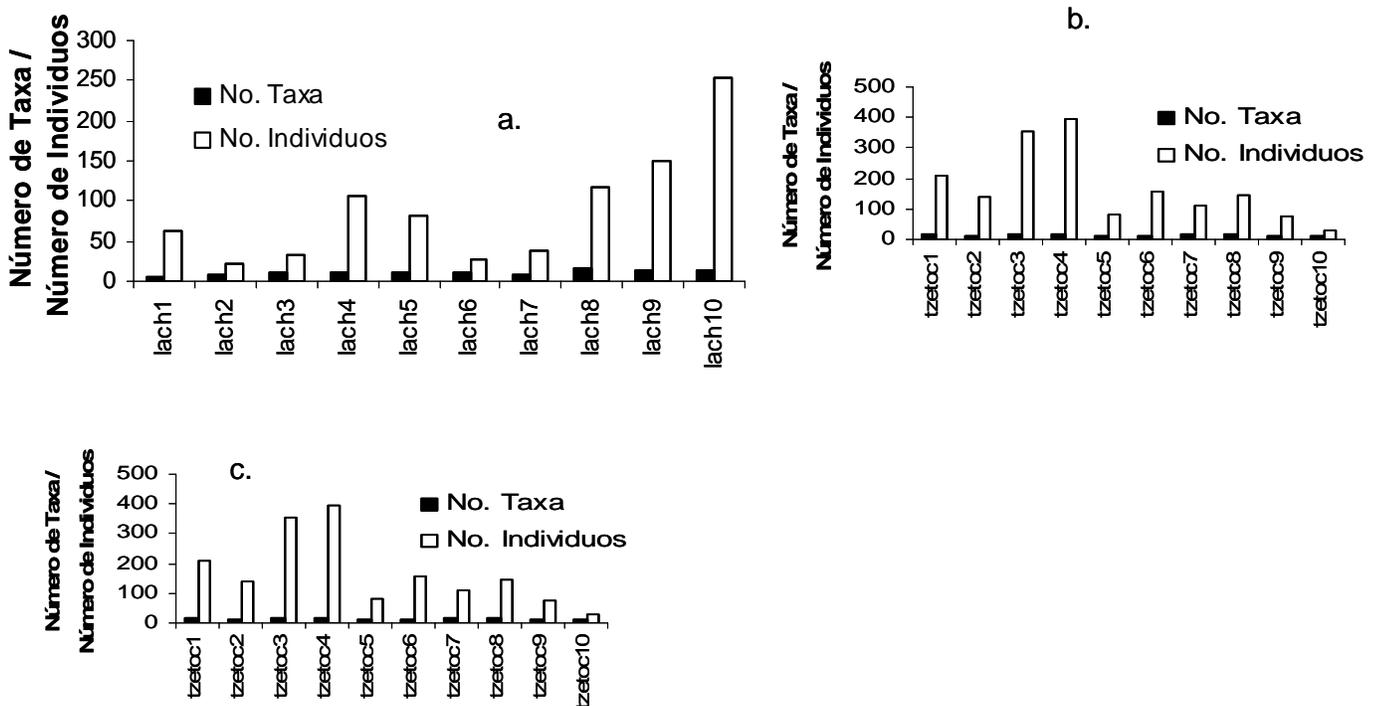


Figura 6. Número Taxa e Individuos presentes en las muestras. a) río Lachuá, b) río Peyán y c) río Tzetoc.

Cuadro 5. Valores de la media, desviación estándar y error en la riqueza y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en cada río, Lachuá, Tzetoc y Peyán.

Río		Media	Desviación estándar	Error (%)
Lachuá	Riqueza	11.2	3.33	21.25
	Abundancia	89.5	72.16	22.62
Tzetoc	Riqueza	15.2	2.78	13.08
	Abundancia	169.2	118.97	15.9
Peyan	Riqueza	16	4.82	23.16
	Abundancia	168.22	105.09	16

En lo que se refiere a los grupos funcionales alimenticios el grupo más abundante en los tres ríos fue el de los colectores, siendo entre el 65 y 73% del total de organismos; le sigue en abundancia el grupo funcional de los depredadores, en los ríos Tzetoc y Lachuá representaron entre 13 y 18% de los organismos, mientras que para el río Peyán solo el 3.56%. Los organismos desmenuzadores y raspadores representaron menos del 2% en los ríos Tzetoc y Lachuá, en el río Peyán representaron el 13% (Figura 7).

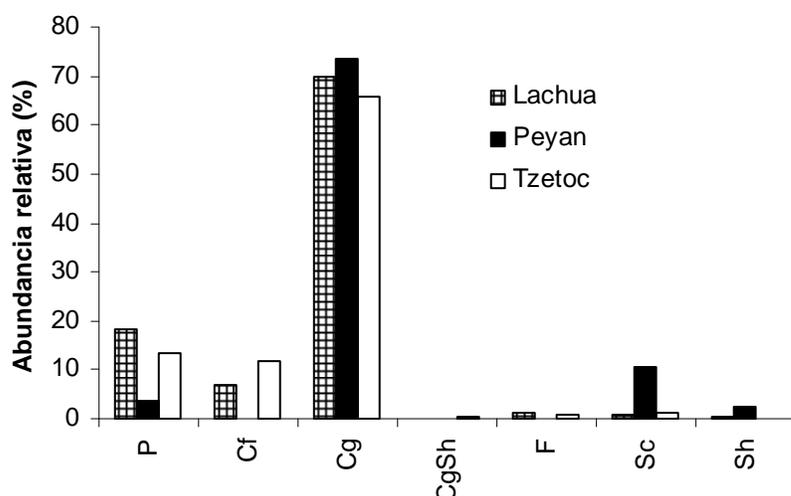


Figura 7. Abundancia relativa de grupos funcionales alimenticios en los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc. Cg= colector-recogedor; Cf= colector-filtrador; Sh= Desmenuzador; P= depredador; Sc= raspador; F= Filtrador

8.3 Clasificación y ordenación de los ensambles de macroinvertebrados acuáticos de los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc

En base a la presencia y abundancia de los diferentes organismos colectados se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico con el algoritmo de promedio de grupos pareados y el índice de similitud de Horn (Figura 8). Con un nivel de corte al 50% se distinguen bien 2 grupos, donde se separan las unidades experimentales del río Peyán de las unidades experimentales de los ríos Lachuá y Tzetoc y la muestra número 5 del río Peyán.

Esta separación es evidente al revisar y comparar la composición de los ensambles entre los tres ríos. Donde el río Peyán comparte el 50 % de sus 44 taxa con los ríos Lachuá y Tzetoc. Para el río Lachuá estos 22 taxa representan el 62% de sus 35 taxa, mientras que para el río Tzetoc estos 22 taxa representan el 57% de sus 38 taxa. Los ríos Tzetoc y Lachuá comparten 28 taxa, por lo que están compartiendo el 74 y 80% de su riqueza respectivamente.

Tanto dentro del grupo de las unidades experimentales del río Peyán como el grupo conformado por las unidades experimentales de los ríos Tzetoc y Lachuá, se observan como se subdividen en subgrupos hasta con un 30% de disimilitud, donde las agrupaciones se dan entre unidades muestrales del mismo río.

En las unidades experimentales del río Lachuá los organismos más abundantes y dominantes son los coleópteros pertenecientes a la familia Elmidae (*Heterelmis sp.*, *Hexacyllopus sp.*, *Phanocerus sp.*) y en especial el género *Heterelmis sp.* También se encuentran bien representados los órdenes Plecoptera (*Anacroneuria sp.*), Ephemeroptera (*Farrodes sp.*), Tricoptera (*Chimarra sp.*) y Diptera con organismos pertenecientes a las familias Chironomidae y Cerapotogonidae. Las unidades experimentales del río Tzetoc se diferencian con las del río Lachuá debido a los taxa como los efemerópteros *Thraulodes sp.* y *Caenis sp.*, el tricóptero *Smicridea sp.*, entre los coleópteros tiene mayor abundancia el género

Microcyллоepus sp., los chironómidos son mucho más abundantes, al igual que *Argia sp* (Odonata).

La composición de los ensambles presentes en el río Peyán tiene giro fuerte con respecto a la composición de los ensambles de los ríos Lachuá y Tzetoc. Sigue siendo un coleóptero el organismo más abundante, pero en este caso son los organismos del género *Phanocerus sp.* y el género *Heterelmis sp.* apenas si está presente en el río Peyán. Es de notar que en el río Peyán no se colectaron organismos del género *Anacroneuria sp.* (Plecoptera). El orden Ephemeroptera en los ríos Tzetoc y Lachuá solo presentó individuos de tres géneros, mientras que en el río Peyán se presentaron 10 géneros, siendo muy abundante el género *Bateis sp.* En el orden Tricoptera se presentó de forma muy abundante el género *Zumatrichia sp.* Las unidad experimental peyan 5 se diferenció fuertemente de las demás unidades experimentales de los tres ríos, principalmente por la alta abundancia de gasterópodos.

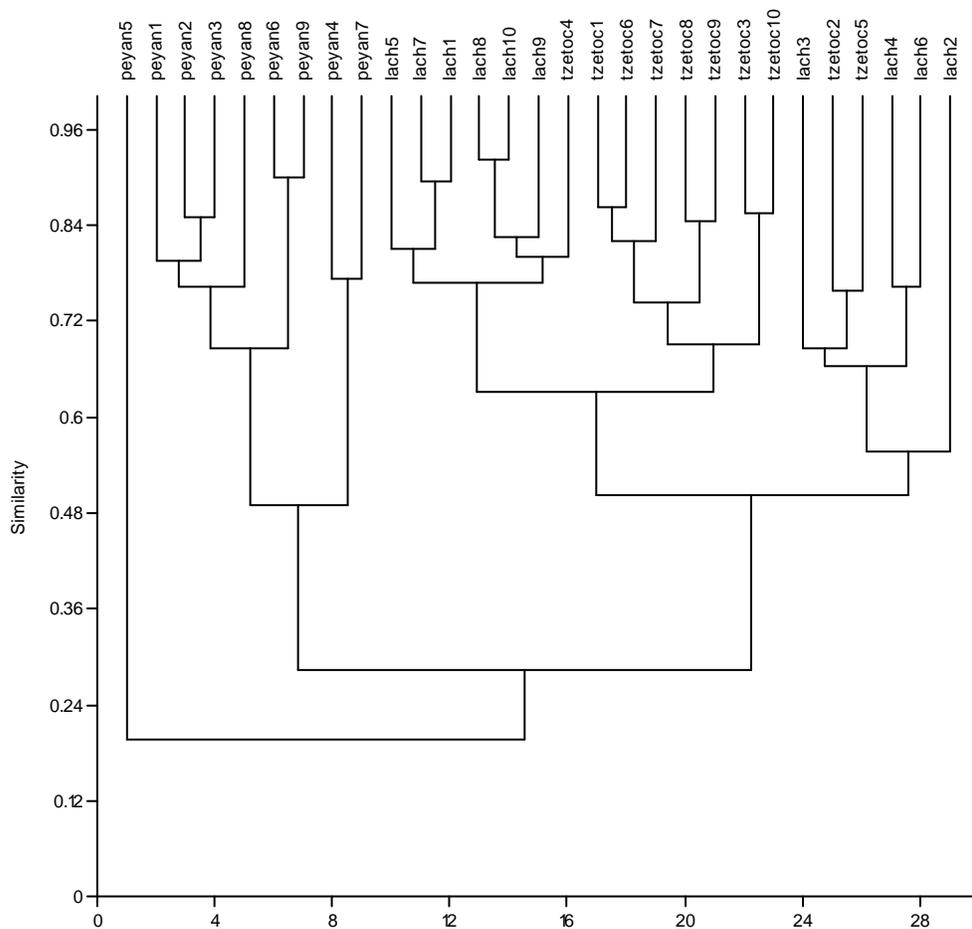


Figura. 8 Análisis de agrupamiento jerárquico (Algoritmo de promedio de grupos pareados y el índice similitud de Horn) de las muestras de macroinvertebrados acuáticos colectados en los ríos Lachuá, Tzetoc y Peyán en junio de 2007. En el análisis se muestran las relaciones jerárquicas entre las unidades experimentales.

Ordenamiento Indirecto

En el análisis de ordenación indirecto como lo es el análisis de correspondencia, se puede apreciar como se ordenan los sitios y las especies a lo largo de los dos primeros ejes de ordenación (Figura 9). La varianza total de todas las muestras es de 3.037 y entre el primer eje y el segundo eje representan 38.2% de la variación total (Cuadro 6).

En la figura 9 se observa como sobre el eje1 y el eje2 se separan las unidades experimentales del río Peyán de las unidades de los ríos Tzetoc y Lachuá, al igual

que en el análisis de agrupamiento jerárquico. Estos dos grupos tienen una diferenciación interna sobre el eje 2.

Entre las unidades experimentales del río Peyán se observa, en la figura 8b, como se encuentra separada la unidad peyan5 diferenciándose de todas las demás unidades. En el extremo inferior izquierdo se agrupan las muestras peyan1, peyan2, peyan6 y peyan9

Cuadro 6. Valores de los ejes del Análisis de Correspondencia de las 29 muestras y 63 especies. Se presenta la varianza total, la varianza de cada eje y la varianza acumulada para los tres primeros ejes.

	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Varianza Total
Varianza	0.702	0.458	0.322	3.037
% varianza acumulada	23.1	38.2	48.8	

Entre las unidades experimentales de los ríos Tzetoc y Lachuá también se observa una separación de las unidades sobre el eje 2. Se tiene en el lado superior izquierdo a las unidades tzetoc2, lach2 y lach3 y hacia el lado inferior izquierdo a las unidades lach1, lach7, lach9, lach10; entre estas unidades se observan la mayoría de unidades del río Tzetoc y las restantes del río Lachuá.

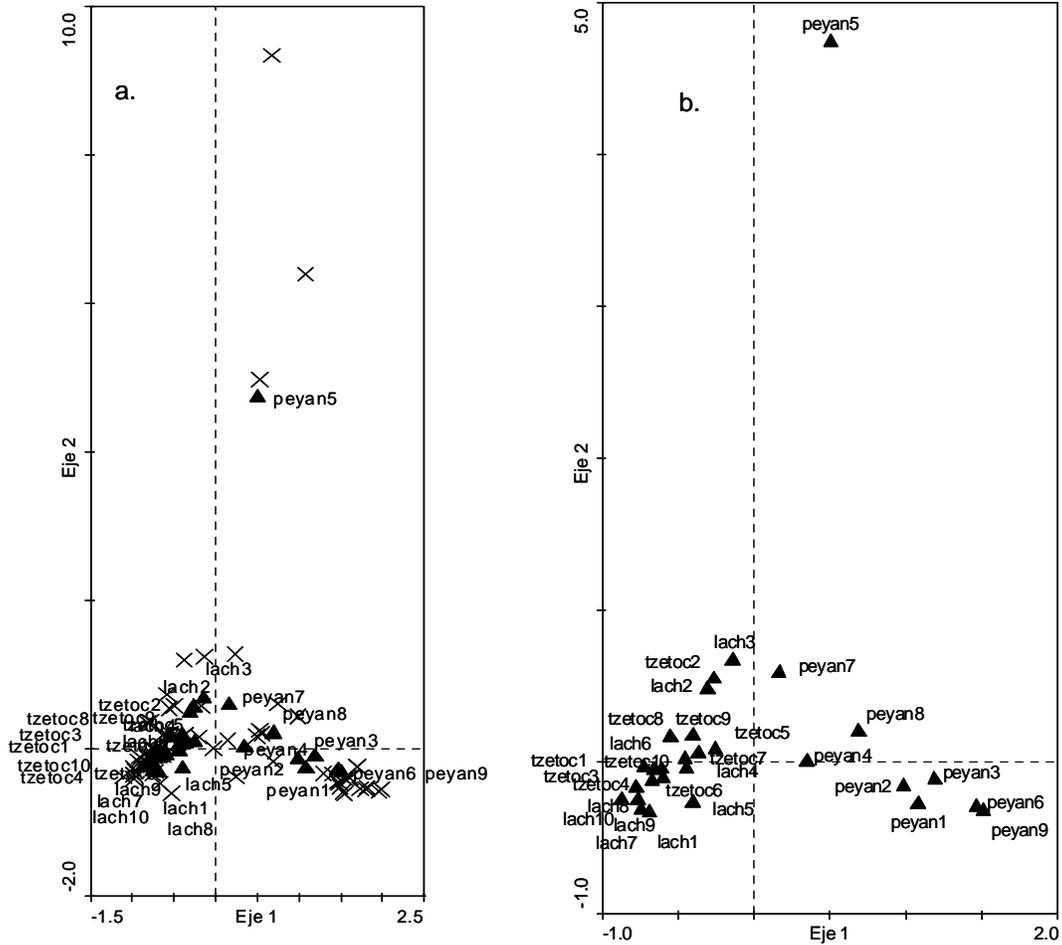


Figura 9. Análisis de Correspondencia, 29 unidades experimentales y 63 especies. a) Se representan las especies como X y las unidades experimentales como triángulos. b) Se presenta un análisis de correspondencia con las unidades experimentales solamente, para hacer más evidentes las distancias entre ellas.

Ordenamiento Directo. Relación entre distribución de macroinvertebrados acuáticos y características fisicoquímicas de los ríos

Se realizó un análisis de correspondencia canónico, donde se pueden apreciar las relaciones entre las muestras, especies y variables fisicoquímicas (Figura 10).

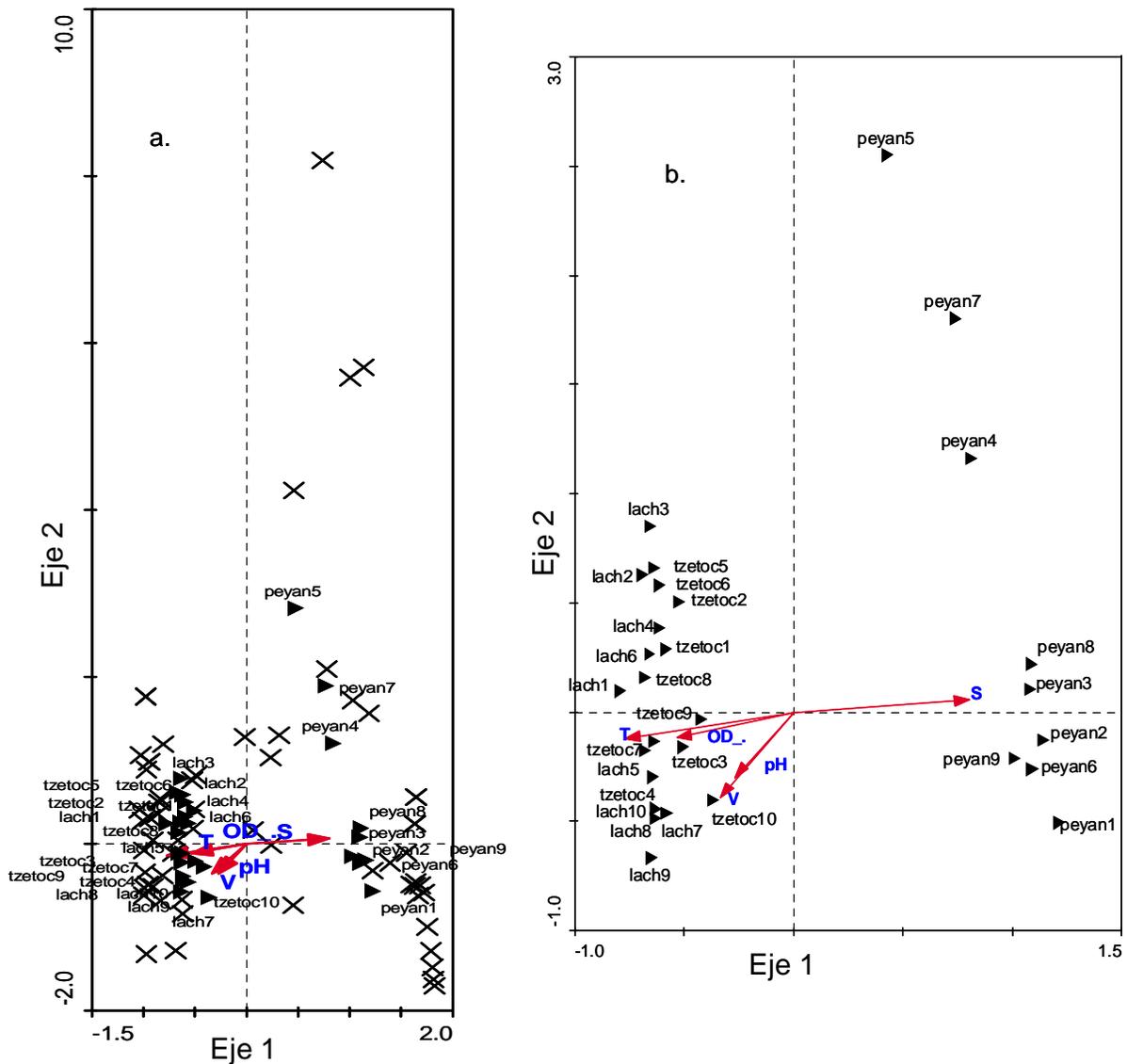


Figura 10. Análisis de correspondencia canónica entre 8 variables fisicoquímicas, 29 unidades experimentales y 63 especies. a) Las variables ambientales representadas son: S, salinidad; OD, oxígeno disuelto; T, temperatura; V, velocidad de la corriente, y pH. Los sitios se representan como triángulos y los taxa como x. b) Se muestran solo las 29 muestras y las variables fisicoquímicas con el fin de hacer más evidentes las agrupaciones.

Los tres primeros ejes del CCA explican el 85% de la varianza explicada por las variables ambientales incluidas en el análisis. Esta varianza corresponde al 39.5% de la varianza total que existe en la matriz de especies. El grado de correlación entre los ejes formados por los datos de los taxa y las variables ambientales sugiere que estas variables ambientales explican la ordenación de las muestras en las figuras 9 y 10 (Cuadro 6, 7).

Cuadro 7. Valores del análisis de correspondencia canónica. Se presentan las varianzas, las correlaciones entre especies y factores ambientales y la varianza acumulada para los tres primeros ejes de ordenación.

	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Varianza	0.659	0.332	0.210
Correlación especies-ambiente	0.975	0.891	0.846
% de varianza acumulada de los datos de especies	21.7	32.6	39.5
% de varianza acumulada de la relación especies-ambiente	46.9	70.6	85.6
Varianza total de la matriz de especies			3.037
Varianza total explicada por los ejes canónicos			1.403

De las siete variables fisicoquímicas medidas, las que se representan solo son 5, debido a que estas son las que mejor se correlacionan con los ejes de ordenación canónicos. La variación en el eje 1 se correlaciona positivamente con la salinidad (0.960), la conductividad (0.944) y de forma negativa con la temperatura (-0.920). En la figura 8 solo se presenta el gradiente de la salinidad y no se presentan los gradientes de conductividad ya que está correlacionado con la salinidad (0.987) y por lo tanto no es significativa su correlación con los ejes canónicos (Cuadro 8).

La variación en el eje 2 está correlacionada negativamente con las variables velocidad de la corriente (-0.557) y pH (-0.537). Se presentan los gradientes de las dos variables debido a que estas se encuentran muy poco correlacionadas entre sí (0.420).

Cuadro 8. Correlación entre los tres primeros ejes de ordenación canónicos del análisis de correspondencia canónica y las variables fisicoquímicas medidas en los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc.

Variable Fisicoquímica	Correlación			Estadístico F	Probabilidad
	Eje 1	Eje 2	Eje 3		
pH	-0.38	-0.537	-0.289	2.5	0.002
Temperatura	-0.920	-0.205	-0.091	2.130	0.008
Oxígeno disuelto	-0.646	-0.169	-0.160	2.081	0.008
Salinidad	0.960	0.089	0.048	7.353	0.002
Conductividad	0.944	0.147	0.074	0.847	0.634
Velocidad de la corriente	-0.403	-0.557	0.510	3.078	0.002
Profundidad	0.238	-0.135	-0.385	1.379	0.1160

A partir de lo anterior podemos resumir en la figura 11 el comportamiento de los taxa colectados en los ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán:

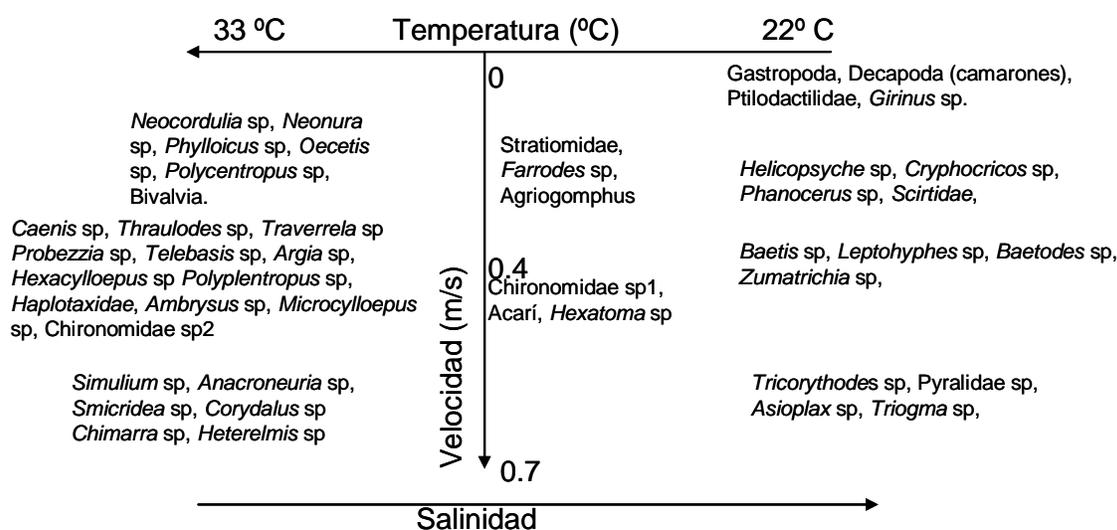


Figura 11. Distribución de los taxa colectados en los ríos Lachuá, Tzetoc y Peyán con respecto a la salinidad, temperatura y velocidad de la corriente.

9. Discusión

9.1 Características fisicoquímicas de los sitios de estudio

Al examinar los valores de conductividad y pH de las muestras en los tres ríos se puede observar que se trata de aguas duras, tal y como lo han reportado estudios anteriores en el área (Granados, 2001; Christensen y Granados, 2002; Vantuylen *et al.*, 2006).

Los valores mayores de conductividad y por tanto de salinidad en el río Peyán en relación a los ríos Lachuá y Tzetoc se pueden deber al origen de los mismos. El río Peyán es un río que nace en las montañas del sur de la ecorregión, montañas con una geología cárstica (mapas MAGA, 2001), lo que sugiere que gran cantidad de partículas como carbonatos, silicatos y otras sales solubles, se derivan por el desgaste y descomposición del karts de las áreas donde tiene lugar el nacimiento del río (Christensen y Granados, 2002). Esta agua luego se acumula en la laguna, donde la disminución en la concentración de sales puede deberse que la laguna también tiene otras fuentes de alimentación como lo son algunos ríos temporales y efímeros producto de las lluvias y el mismo volumen de agua que esta posee. Esta agua con menor conductividad, como lo reporta Granados (2001) da origen a los ríos Tzetoc y Lachuá, ríos que drenan la laguna y tienen valores de conductividad y salinidad similares a los reportados para la laguna.

Lo anterior también explica las diferencias en temperatura entre estos ríos, ya que una vez que el agua ha estado en la laguna y expuesta a la irradiación solar, adquiere mayores temperaturas a las que tuvo durante el recorrido del río Peyán. Teniendo como consecuencia que la temperatura del agua en los ríos que drenan la laguna sea mayor (Figura 5).

Los valores de pH en los ríos son en su mayoría básicos, con excepción de algunas muestras en el río Peyán (peyan4, peyan5 y peyan7). Estas muestras

fueron tomadas en remansos donde la corriente de agua es cero y se daba una gran acumulación de materia vegetal en descomposición, debido a lo cual se acumulan los productos ácidos de la fermentación de la materia orgánica (Cuadro 3). Debido a la ausencia de flujo de agua estas tres unidades experimentales se pueden considerar como un ambiente diferente al experimento,

Los altos valores de oxígeno disuelto y los valores de nutrientes reportados en Van Tuylen (2006) nos indican que los cuerpos de agua bajo estudio son oligotróficos. En el río Peyán los valores de oxígeno disuelto fueron relativamente menores que en los ríos Tzetoc y Lachuá, condición que puede deberse a que la solubilidad del mismo decrece con el aumento de la salinidad (Wetzel, 2001).

9.2 Composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos

La información sobre macroinvertebrados acuáticos en Guatemala es escasa, aún más escasos, son los estudios sobre de la ecología de los mismos. En Guatemala solo existen los estudios generados recientemente en la Ecorregión Lachuá y otro generado en el Biotopo Chocón Machacas (Van Tuylen, 2006; Van Tuylen *et al.* 2006; García, 2006b y Calderón, 2007). Sobre la ecología y estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos se han desarrollado trabajos en Nicaragua, Costa Rica y Panamá (Ramírez y Pringle, 1998; Fenoglio *et al.*, 2004; Medianero Y Samaniego, 2004; Ramírez *et al.*, 2006).

La composición faunística de la comunidad de macroinvertebrados registrados en este estudio es muy similar a la encontrada en otros ríos de Centroamérica que se encuentran dentro de áreas protegidas y en tierras bajas (Ramírez y Pringle, 1998; Fenoglio *et al.*, 2004). Se colectaron 9 taxa menos que en lo registrado para la Ecorregión Lachuá (Van Tuylen *et al.*, 2006), esto debido a la reducción en la escala espacial y temporal de la presente investigación.

En los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc la comunidad de macroinvertebrados acuáticos se encuentra dominada por los insectos, estos constituyen el 96.8% de la riqueza total. Esto es similar a lo reportado en áreas templadas y tropicales (Williams y Feltmate, 1992; Allan, 1995). Al analizar la composición de los grupos funcionales se observa que los grupos más abundantes son los colectores y los depredadores, siendo más del 70%, los desmenuzadores y los raspadores son menos del 5%. Esta distribución de la abundancia de los grupos funcionales alimenticios en zonas templadas coincide con ríos de cuarto y quinto orden y no con ríos de primer y segundo orden como es el presente caso (Williams y Feltmate, 1992). Una distribución similar observaron Ramírez y Pringle (1998) en ríos de Costa Rica. Ellos sugieren que otros organismos están ocupando el nicho ecológico de la degradación de materia orgánica y detritos que ocupan los macroinvertebrados desmenuzadores y raspadores en las zonas templadas. Este papel se lo atribuyeron a organismos como peces y algunos camarones que examinaron. En los ríos del PNLL podría estar ocurriendo lo mismo, ya que en los sitios de colecta se observó la presencia de peces y se colectaron camarones.

Por tanto podemos concluir que la composición funcional alimenticia de los macroinvertebrados acuáticos se encuentra dominada principalmente por colectores-recogedores (71%) y depredadores (11 %).

9.3 Clasificación y ordenación de los ensambles de macroinvertebrados acuáticos de los Ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc

En los análisis de agrupamiento jerárquico y de correspondencia que se realizaron se evidenció la diferencia en la composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados presente en el río Peyán con respecto a la presente en los ríos Tzetoc y Lachuá. Esta diferencia en la composición taxonómica no significó una diferencia en la composición funcional existente en los tres ríos. Al observar y analizar las variables fisicoquímicas medidas en los tres ríos se puede suponer

que las diferencias en la composición taxonómica entre los ríos Tzetoc-Lachuá y Peyán se deben a las diferencias en temperatura y concentración de sales principalmente. Esto fue constatado por medio del CCA, donde la distribución de las unidades experimentales y las especies sobre el eje 1 se correlacionó significativamente con estas variables y con el porcentaje de oxígeno disuelto.

La temperatura, la concentración de sales y de oxígeno disuelto son variables ambientales que afectan la distribución de los macroinvertebrados acuáticos de manera regional o a grandes escalas (Heino *et al.*, 2003; Fenoglio *et al.*, 2004). En este caso, se está evidenciando que el distinto origen de los ríos, y diferente condición fisicoquímica, afecta la composición taxonómica de los ensambles de macroinvertebrados acuáticos presentes en ellos.

Los ensambles de los ríos Lachuá y Tzetoc se diferencian de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del río Peyán principalmente por los coleópteros pertenecientes a la familia Elmidae, *Heterelmis sp.*, *Hexacyllopus sp.*, *Microcyloepus sp.*; los plecópteros, *Anacroneuria sp.*; tricópteros, *Smicridea sp.* y *Chimarra sp.*; así como los hemípteros, *Ambrysus sp.* Todos los anteriores son organismos que se desarrollan mejor en aguas con temperaturas entre los 29 y 33°C, con mayores concentraciones de oxígeno disuelto y menores concentraciones de sales.

A diferencia de lo anterior, el ensamble en el río Peyán se encuentra representada principalmente por coleópteros de la familia Elmidae, pero del género *Phanocerus sp.*, Scirtidae, Ptilodactilidae; los efemerópteros *Baetis sp.*, *Baetodes sp.*, *Tricorythos sp.*; los tricópteros *Zumatricia sp.*, *Helicopsyche sp.*; hemípteros *Cryphocricos sp.* y los lepidópteros de la familia Pyralidae. Estos organismos suelen estar presentes en mayor abundancia en aguas con temperaturas entre los 22 y 24°C, con mayor concentración de sales y menores concentraciones de oxígeno disuelto.

Algunos organismos como los dípteros (Chironomidae, Stratiomidae, *Hexatoma* sp), ácaros y efemerópteros como *Farrodes* sp., son organismos más generalistas en cuanto a las condiciones de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto.

En los análisis de agrupamiento jerárquico y correspondencia también se observa que dentro de los dos grupos formados existen diferencias de hasta un 30%. Estas diferencias son evidentes cuando observamos entre las muestras del mismo río, la riqueza varía desde 6 a 16 taxa en el río Lachuá y de igual forma entre las muestras del río Tzetoc y Peyán. En el CA esta variación se observa en el eje 2 de ordenación. Dicha variación, en el eje 2 de ordenación, se encuentra correlacionada con la velocidad de la corriente y el pH.

Por tanto la distribución de los macroinvertebrados acuáticos se encuentra correlacionada con la variación en la concentración de sales en el agua, la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH y la velocidad de la corriente. La velocidad de la corriente y el pH afectan la distribución de los macroinvertebrados acuáticos a una escala de microhabitats.

9.4 Distribución de los macroinvertebrados acuáticos con respecto a la velocidad e la corriente y la profundidad

Al analizar la distribución de las muestras sobre el eje 2 en el CCA se puede notar que la variación está relacionada con la velocidad de la corriente. Estas diferencias se hacen evidentes también en el análisis de agrupamiento jerárquico. Donde se agrupan las unidades experimentales de lach1, lach7, lach8, lach9, lach10 y tzetoc4 tienden a tener las mayores velocidades de corriente al igual que sucede con las muestras de peyan6 y peyan9. En estas muestras tienden a estar presentes organismos aplanados dorsoventralmente y buenos nadadores (Merrit y Cummins, 1996; Posada y Roldan, 2003; Pérez y Segnini, 2005) como los plecoterios, megalopterios y algunos efemerópteros (*Asioplax* sp, *Tricorithodes* sp)

u organismos que tienen buenas capacidades de fijarse al sustrato, como los simulidos, tipulidos y algunos tricopteros (Figura 11).

En los sitios con velocidades de corriente menores como en Lach2, Lach3, Lach5, Tzetoc2, Tzetoc 6, Tzetoc7, peyan1, peyan2 y peyan3 son sitios donde tienden a estar los macroinvertebrados que no son buenos nadadores, tienen un cuerpo poco hidrodinámico como lo son Chironomidae, *Baetis sp*, *Thraulodes sp*, *Hexacylloepus sp*, *Microcyllloepus sp*, *Ambrysus sp* y Haplotoxidae; todos organismos de hábitos excavadores. (Merrit y Cummins, 1996; Posada y Roldan, 2003; Pérez y Segnini, 2005).

Esta variación en la distribución de los macroinvertebrados acuáticos esta dada porque las diferencias en velocidad de la corriente en los distintos puntos crean una heterogeneidad en la estructura de nichos (Hart y Finell, 1999). Por tanto las diferencias en la velocidad de la corriente ha conducido a que los distintos organismos hayan desarrollado adaptaciones morfológicas y fisiológicas que le han permitido la colonización de diferentes nichos para optimizar la adquisición de recursos y así disminuir la competencia (Allan, 1995; Hart y Finell, 1999).

La profundidad en la columna de agua como se puede observar en el CCA no tiene correlación alguna con la distribución de los macroinvertebrados acuáticos presentes en los sitios de estudio. Esto se debe a que las profundidades estudiadas no presentan ningún impedimento para la difusión del oxígeno y la luz en el agua, factores que se correlacionan normalmente con la profundidad en la columna del agua y son limitantes para la vida (Allan, 1995; Wetzel. 2001)

La variación que se observa representa en el eje 2 del CA y el CCA además de estar explicada por la velocidad de la corriente también se encuentra correlacionada con el pH (Cuadro 8) Esto se debe a que se obtuvieron pH ácidos donde se registraron velocidades cercanas a cero, peyan4, peyan5 y peyan7. En

estos sitios los ácidos producidos por la fermentación de la materia vegetal se acumulan creando condiciones de microhábitats ácidos en un entorno básico. Estos sitios se vieron dominados por Gasterópodos, Ptilodatilidae y *Gyrinus* sp, organismos que no se encuentran adaptados fisiológicamente a pH básicos.

Teniendo en cuenta lo anterior, A una escala de microhábitats la variación en la distribución de los macroinvertebrados se encuentra correlacionada con la velocidad de la corriente y el pH. Y la profundidad en la columna de agua no esta correlacionada con la distribución de los macroinvertebrados acuáticos

9.5 Monitoreo de los cuerpos de agua de la ecorregión Lachuá

En la ecorregión de Lachuá la principal fuente de perturbación ha sido el cambio en el uso de la tierra; pero es posible que se den otras fuentes de impacto debido a la reactivación de la actividad petrolera y la implementación de cultivos extensivos de tales como el de palma africana (Comentarios personales Lic. Claudio Méndez). En el área de influencia del PNLL con la colonización dada de una forma acelerada desde los años 80 se ha formado un mosaico de usos de la tierra donde un 60 % del área se ha transformado en centros poblados, potreros, cultivos (milpa y cardamomo principalmente) y bosques secundarios jóvenes (García, 2006a). Este cambio del uso de la tierra en algunos casos a llevado a la implementación de agroquímicos, fertilizantes y sustancias tenso activas como jabones y detergentes; sustancias que en conjunto se conocen como contaminantes orgánicos y pueden poner en riesgo la calidad del agua para la diversidad biológica de los cuerpos de agua que en esta región existen.

Para monitorear y tener información de cambios ecológicos de forma temprana en los cuerpos de agua de la ecorregión podemos utilizar como bioindicadores de perturbaciones orgánica el ensamble de macroinvertebrados acuáticos. El ensamble nos puede dar información de forma temprana al analizar los valores de diversidad y equidad que presentan en cada sitio, ya que estos parámetros se ven

afectados negativamente con la contaminación (Alba-Tercedor y Sanchez-Ortega, 1988; Mandaville, 2002).

En las investigaciones desarrolladas hasta el momento con macroinvertebrados acuáticos (Van Tuylen, 2006; Van Tuylen *et al.* 2006) no se ha encontrado que las actividades humanas desarrolladas en la ecorregión tengan un impacto severo sobre la biodiversidad y en las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua. Esto nos indica que las perturbaciones son medias y permiten el mantenimiento de la biodiversidad, lo que encaja con la hipótesis de perturbaciones intermedias (Connell, 1978). Pero las nuevas actividades que se empiezan a dar en esta área si pueden tener un fuerte efecto sobre la calidad de los sistemas acuáticos y de la biodiversidad. Debido a esto se debe desarrollar e implementar lo más pronto posible un experimento de trayectoria en la ecorregión; ya que se podrá registrar el estado antes y después de los cuerpos acuáticos y la biodiversidad. Con lo cual se podrá tener de forma temprana aviso sobre cambios ecológicos en la biodiversidad de los cuerpos de agua debido a estas nuevas perturbaciones.

Con el fin de monitorear el estado y los cambios en los cuerpos de agua de la ecorregión Lachuá se recomienda utilizar como indicadores a los organismos que pertenecen a los Ordenes Plecoptera, Tricoptera, Ephemeroptera y Diptera (Chironomidae); ya que de estos organismos se ha reportado en la literatura como organismos sensibles a la contaminación y se encuentran distribuidos en la ecorregión, además cumplen con varios criterios apropiados para ser indicadores biológicos:

- Son fáciles de coleccionar ya que presentan altas abundancias.
- Su taxonomía es bastante bien conocida.
- Los niveles taxonómicos de familia y género están ampliamente distribuidos.
- Y son organismos que son sensibles a la contaminación orgánica.

(Alba-Tercedor y Sanchez-Ortega, 1988; Noss, 1990; Kremen *et al.* 1993; Gutierrez *et al.* 2006)

En el diseño de la toma de datos se debe tomar en cuenta que como estamos analizando secciones de los ríos lo que en este estudio se considero como una unidad experimental pasa a ser una submuestra y los diez arrastres se consideran en conjunto parte de una unidad muestral. Que como se observa en los resultados obtenidos diez arrastres pueden conformar un tamaño muestral adecuado por unidad experimental ya que el error es menor al 24 % tanto en los valores de riqueza como de abundancia (Cuadro 5). Error que es aceptable en un estudio ecológico (comunicación personal Lic. Claudio Méndez)

Para el monitoreo podemos tener dos estrategias para segregar la variación debida a las diferencias en velocidad y por tanto de los microhábitats que esta separa. La primera estrategia es que se trate de cubrir todas las variaciones posibles de velocidad de corriente dentro de cada sección del cuerpo de agua que se este monitoreando. La segunda estrategia es estandarizar que los arrastres solo se hagan en un rango de velocidad, preferiblemente entre los 0.3 a 0.45 m/s, ya que es en este rango donde se reporta que son mas estables los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos (Allan, 1995). Para seleccionar una de las dos estrategias se deben analizar los costos y beneficios de cada una.

Una mayor especificidad en que especies pueden ser mejores indicadores de la contaminación en la ecorregión Lachuá solo se podrá tener a medida que se recojan datos de cómo se distribuyen los macroinvertebrados acuáticos tanto en áreas que no presentan contaminación, como es el caso de este estudio, y en áreas que ya se registra físico-químicamente valores elevados de contenido de nutrientes. Con lo cual se podrá integrar como criterio para seleccionar a un indicador la condición de estenoico (Gutiérrez *et al.* 2006). También a medida que se ejecute el monitoreo se debe ir retroalimentado el diseño del experimento ya que se tendrán datos de las fluctuaciones poblacionales de cada especie, variación que también se debe segregar para que el poder y precisión del experimento sea mayor.

Dentro de esta retroalimentación se deben tomar en cuenta también el desarrollo de otras fuentes de contaminación como lo son en un futuro cercano la explotación del petróleo y el cultivo de palma africana. Actividades que generan contaminantes específicos que se pueden medir directamente y correlacionarlos con la diversidad biológica para seguir su monitoreo solo con los indicadores biológicos.

10. Conclusiones

En los ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán:

1. La distribución de los macroinvertebrados acuáticos se encuentra correlacionada con la variación en la concentración de sales en el agua, la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH y la velocidad de la corriente.
2. A una escala de microhábitats la variación en la distribución de los macroinvertebrados se encuentra correlacionada con la velocidad de la corriente y el pH.
3. La profundidad en la columna de agua no está correlacionada con la distribución de los macroinvertebrados acuáticos.
4. La composición funcional alimenticia de los macroinvertebrados acuáticos se encuentran principalmente entre colectores-recogedores (71%) y depredadores (11 %).

11. Recomendaciones

En la presente investigación solo se tomó en cuenta el sustrato orgánico. Se recomienda que para la ejecución del monitoreo se estandarice el uso de un solo sustrato, ya que esto nos llevara a tener una mayor precisión y poder con un menor costo. En estudios complementarios con el fin de obtener mayor conocimiento de la biología de los macroinvertebrados acuáticos se debe comparar y estudiar la distribución de los macroinvertebrados acuáticos en otros sustratos presentes en los ríos de la ecorregión Lachuá como las arenas, gravas y piedras (Heino *et al.*, 2003, Williams y Feltmate, 1992).

La red en D es un instrumento de colecta de macroinvertebrados acuáticos que se ha implementado para evaluar la distribución de estos organismos de forma cualitativa. Se puede evaluar la diversidad de una forma semicuantitativa si se estandarizan los arrastres en área o tiempo, como se hizo en la presente investigación. Para mantener un bajo grado de error se debe tener el cuidado de realizar todos los arrastres bajo el mismo esfuerzo.

Se recomienda que para la formulación y ejecución de un programa de monitoreo de la evaluación de la calidad de agua de los cuerpos de agua de la Ecorregión Lachuá con macroinvertebrados acuáticos se estandarice la toma de muestras a un rango de velocidad de corriente ya que al igual que la estandarización del sustrato le dará mayor precisión al monitoreo y reducirá los costos de desarrollo del experimento.

12. REFERENCIAS

- Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y la calidad del agua de los ríos. VI Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA) Vol. II 203-213. España.*
- Alba-Tercedor, J y Jiménez F. 1978. Larvas de efemerópteros de las estribaciones de Sierra Nevada. Factores que intervienen en su distribución. Bol. Asoc. esp. Entom. Vol. 2 91-103. Salamanca.*
- Alba-Tercedor, J y Sánchez-Ortega. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado e el de Hellawell (1978). Asociación Española de Limnología. Limnetica, 4: 51-56. Madrid, España.*
- Allan, J. 1995. Stream Ecology. Structure and function of running waters. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 381 pp.*
- Alonso, A y Camargo A. 2005. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente.*
- Beatty, J; Mcdonald, L and Westcott, F. 2003. Guidelines for Sampling Benthic Invertebrates in British Columbia Streams. Ministry of Water, Land and Air Protection Kootenay Region, British Columbia. 18 pp.*
- Calderon T. 2007. Evaluación del sustrato en la abundancia y distribución de macroinvertebrados bentonicos en el río Cáliz, Izabal, Guatemala. Informe Final de Ejercicio Profesional Supervisado -EPS-. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.*

- Collier, K y Wilcock, R. Influence of substrate type and physico-chemical conditions on macroinvertebrate faunas and biotic indices of some lowland Waikato, New Zealand, streams. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1998, Vol. 32: 1-19.*
- CONAP, UICN, Embajada de los Países Bajos, INAB. 2004. Plan Maestro del Parque Nacional Laguna de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz 2004-2009, Guatemala, 113 p.*
- Connell, J. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*. Vol. 199 No. 4335: 1302-1310.*
- Christensen M y Granados P. 2002. Caracterización limnológica preliminar de la Laguna Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. Proyecto Lachuá, Escuela de Biología USAC y Fundación Solar. Guatemala. 97 pp.*
- Edmunds G, Jensen S y Berner L. 1976. The mayflies of North and Central America. Copyright University of Minnesota. USA.*
- Edwards, G ; *et al.* 1998. Evaluation of Wet Weather Pollution Sources on Large Rivers Utilizing Biological Communities. Proceedings of the 1998 NWQMC National Monitoring Conference. U.S.A.*
- Fenoglio, S; Bo, T y Cucco, M. Small-scale Macroinvertebrate distribution in a riffle of a neotropical rainforest stream (Río Bartola, Nicaragua). *Caribbean Journal of Science*, Vol 40, No. 2, 253-257. 2004. Collage of Arts and Sciences University of Puerto Rico, Mayagüez.*
- Ficha Ramsar. Sitio Eco-región Lachuá. Editado por el Programa de Investigación y Monitoreo de Lachuá. 2004.*

- García, M. 2006a. Caracterización de la dieta y el hábitat del tapir (*Tapirus bairdii* Gill, 1985) en ecosistemas ribereños del Parque Nacional Laguna Lachuá, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 98 pp.*
- García, P. 2006b. Análisis del cambio en la diversidad de efemerópteros (Clase Insecta), en los ríos Tzetoc y Lachuá, en relación a la acumulación de perturbaciones en la microcuenca Lachuá. Cobán, Alta Verapaz. Informe de Ejercicio Profesional Supervisado –EPS-. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Escuela de Biología. USAC. Guatemala. 32 pp.*
- Granados, P. 2001. Ictiofauna de la Laguna Lachuá, Parque Nacional Laguna Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. Tesis de Biología. Escuela de Biología. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. 73 pp.*
- Gurtz, M y Wallace, J. Substrate-Mediated response of stream invertebrates to disturbance. *Ecology*, Vol. 65, No.5. (Oct.,1984) 1556-1569.*
- Gutiérrez, J; Riss, W y Ospina, R. 2006. Bioindicación de la calidad del agua en la sabana de Bogota-Colombia, mediante la utilización de la Lógica difusa neuro-adaptativa como herramienta. *Caldasia* 28 (1): 45-56.*
- Hart D y Finell C. 1999. Physical-Biological Coupling in Streams: The Pervasive Effects of Flow on Benthic Organisms. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 30. (1999), pp. 363-395.*

- Heino, J; Muotkat, T y Paavola, R. Determinants of macroinvertebrate diversity in headwater streams: regional and local influences. *Journal of Animal Ecology* 2003 72,425-434.*
- Kremen, C; Colwell, R; Erwin, T; Murhpy, D; Noss, R y Sanjayan, M. 1993. Terrestrial arthropod assemblages: Their use in conservation planning. *Conservation Biology* Vol. 7, No 4: 796-808.*
- Legendre P y Legendre L. 1998. *Numerical Ecology*. 2ª Editions. Elsevier Science B.V. Netherlands. 853 pp.*
- McGarigal K, Cushman S y Stafford S. 2000. *Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research*. Springer. USA. 283 pp.*
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación) y CATIE-ESPREDDE (Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información). 2001. Base de Datos Digital de la República de Guatemala a escala 1:250,000. Coordinado por: Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE-MAGA). Guatemala. 114 pp.*
- Mandaville, S. 2002. *Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters-Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols*. (Project H-1) Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax . 48 pp.*
- McCafferty, W.P. 1981. *Aquatic Entomology*. Jones and Bartlett Publishers. E.U.A. 448 pp. *
- Medianero E. y Samaniego M. 2004. Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el río Curundú, Panamá. *Folia Entomológica Mexicana*, 43(3): 279-294.*

- Méndez, C. Comunicación personal el 6 de marzo de 2008. Asesor de Tesis y Jefe de Departamento de Ecología, Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala.*
- Merritt, R. y Cummins K. 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 3ª Ed. Kendall/Hunt Publishing Company. Printed USA. 862 pp.*
- Miranda, F. 1978. Vegetación de la Península Yucateca. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 270 pp.*
- Monzón, R.M. 1999. Estudio General de los recursos agua, suelo y del uso de la tierra del Parque Nacional Laguna Lachuá y su zona de influencia. Cobán, Alta Verapaz. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. 97pp.*
- Noss, R. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4: 355-364.*
- Pérez B, y Segnini S. 2005. Variación espacial de la composición y diversidad de géneros de Ephemeroptera (Insecta) en un río tropical altiandino. *Entomotropica* Vol. 20 (1): 49-57.*
- Posada J. y Roldán G. 2003. Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-occidente de Colombia. *Caldasia* 25(1): 169-192. *
- Ramirez A., Pringle C. y Douglas M. 2006. Temporal and spatial patterns in stream physicochemistry and insect assemblages in tropical lowland streams. *J.N. Am. Benthol. Soc.* 25(1):108-125. *

- Ramirez A. y Pringle C. 1998. Structure and production of a benthic insect assemblage in a neotropical stream. *J.N. Am. Benthol. Soc.* 17(4):443-463.*
- Roldan, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía. El Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”. Bogotá, Colombia. 275p.*
- Rosenberg, D.M., Davies, I.J., Cobb, D.G., and Wiens, A.P. 1997. Ecological Monitoring and Assessment Network (EMAN) Protocols for Measuring Biodiversity: Benthic Macroinvertebrates in Fresh Waters. Dept. of Fisheries & Oceans, Freshwater Institute, Winnipeg, Manitoba. 43 pp.*
- Van Tuylen S. 2006. Evaluación de un método alternativo para medir la calidad del agua con indicadores biológicos y fisicoquímicos en el Parque Nacional Laguna Lachuá (PNLL) y su Zona de Influencia, Cobán, Alta Verapaz. Primera Fase: Caracterización fisiográfica, fisicoquímica y biológica. Informe de Ejercicio Profesional Supervisado –EPS-. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Escuela de Biología. USAC. Guatemala. 37 pp. *
- Van Tuylen S, García P y Gonzales B. 2006. Evaluación de un método alternativo para medir la calidad del agua con indicadores biológicos y fisicoquímicos en el Parque Nacional Laguna Lachuá (PNLL) y su Zona de Influencia, Cobán, Alta Verapaz. Primera Fase. Informe UICN-Lachuá, PIMEL. 44 pp. *
- Wetzel, R. 2001. *Limnology - Lake and River Ecosystems*. 3 Edición. Academic Press. 850 pp. *

- Wiersema, N y Mccaferty, W. 2000. Generic Revision of the North and Central American Leptohiphidae (Ephemeroptera: Pannota). Transactions of the American Entomological Society 126(3+4): 337-371.*
- Williams, D y Felmate, B. 1992. Acuatic Insects. Editorial Redwood PressLtd., Melksham. 358 pp.*
- Zimmerman, M. C. 1993. The use of the biotic index as an indication of water quality. Pages 85-98, *in* Tested studies for laboratory teaching, Volume 5 (C.A. Goldman, P.L.Hauta, M.A. O'Donnell, S.E. Andrews, and R. van der Heiden, Editors). Proceedings of the 5th Workshop/Conference of the Association for Biology Laboratory Education (ABLE), 115 pp.*

12. Anexos

Anexo 1. Características fisicoquímicas de los sitios de muestreo de los ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán. Junio, 2006. (Van Tuylen *et al.*, 2006)

Río	Sitio	pH	Temperatura	Conductividad	TDS	Sal	CO ₂	PO ₄ ⁺³	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	SO ₄ ⁻²
			(°C)	μS							
Peyán	E1	8.33	23.5	835	408	0.4	16	0.18	0.616	0	240
	E2	7.34	24.05	919	451	0.5	16	0.25	0.616	0	
	E3	7.2	24.6	1004	493	0.5	16	0.31	0.616	0	360
Tzetoc	E1		29	1058	520	0.5	6	0	0.308	0	256
	E2	8.21	28.45	1027	505	0.5	5	0.24	0.396	0.033	480
	E3	7.85	28.4	1034	508	0.5	8	1.72	0.132	0	470
	E4	7.7	27.4	816	399	0.4	7	0.04	0.088	0.033	320
Lachuá	E1	7.74	28.6	1051	517	0.5	6	0.2	0.44	0.033	490
	E2			1047	514	0.5	6	0.34	0.22	0.033	790
	E3	9.02	29.1	1054	518	0.5	9	0.08	0.66	0.033	540
	E4	7.16	28.35	1051	517	0.5	6	0.08	0.264	0.033	460

Se presentan los valores de temperatura, pH, conductividad y nutrientes de los sitios de muestreo de los ríos Lachuá, Tzetoc, y Peyán. Los códigos E1, E2, E3 y E4 pertenecen a cada sitio siendo el primero (E1) el sitio mas cercano a la Laguna y el E4 el sitio mas alejado de la Laguna. (VanTuylen *et al.*, 2006)

Anexo 2. Macroinvertebrados Acuáticos registrados para los ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán por VanTuylen *et al.* (2006)

Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxón		
Anelida	Oligochaeta	Haplotaxida		<i>Haplotaxida sp.</i>		
	Hirudinea	Glosiifoniiformes		<i>Glosiifoniiformes sp.</i>		
Mollusca	Gastropoda			<i>Gastropoda sp.</i>		
		Bassomatophora	Ancylidae	<i>Ancylidae sp</i>		
			Ancylidae sp	Hydrobiidae	<i>Hydrobiidae sp</i>	
Nematomorpha		Gordioidea	Gordiidae	<i>Gordius sp.</i>		
Arthropoda	Crustacea	Decapoda		<i>Decapoda sp1. (Cangrejos)</i>		
				<i>Decapoda sp2. (Camarones)</i>		
	Insecta	Odonata	Calopterygidae		<i>Haeterina sp.</i>	
				Coenagrionidae		<i>Argia sp</i>
						<i>Telebasis sp.</i>
						<i>Ischnura sp.</i>
				Platysticidae		<i>Palemnema sp</i>
				Megapodagrionidae		<i>Heteragrion sp</i>
				Corduliidae		<i>Neocordulia griphus</i>
			Gomphiidae		<i>Agriogomphus tumens</i>	
					<i>Erpetogomphus sp</i>	
					<i>Phyllocycla sp</i>	
				Libellulidae		<i>Dythemis sp</i>
						<i>Brechemorhoga sp.</i>
						<i>Pantala sp.</i>
					<i>Perithemis sp.</i>	
			Ephemeroptera	Baetidae		<i>Baetis sp.</i>
						<i>Baetodes sp.</i>
				Caenidae		<i>Caenis sp.</i>
				Heptageniidae		<i>Maccafertium mexicanum</i>
Leptohyphidae		<i>Leptohyphes sp.</i>				
		<i>Asioplax sp.</i>				
		<i>Tricorythodes sp.</i>				
		<i>Vacupernius packeri</i>				
Leptophlebiidae		<i>Farrodes sp</i>				
		<i>Traverella sp.</i>				
		<i>Choroerpes sp.</i>				

Continuación: Anexo 2. Macroinvertebrados Acuáticos registrados para los ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán por VanTuylen *et al.* (2006)

Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxón	
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Ulmeritoides sp.</i>	
			Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria sp.</i>
			Trichoptera	Philopotamidae	<i>Chimarra sp.</i>
				Hydroptilidae	<i>Hydroptilidae sp.</i>
					<i>Neotrichia sp.</i>
				Hydropsychidae	<i>Leptonema sp.</i>
					<i>Macronema sp.</i>
				<i>Smicridea sp.</i>	
			Leptoceridae	<i>Nectopsyche sp.</i>	
				<i>Oecetis sp.</i>	
			Coleoptera	Polycentropodidae	<i>Polycentropus sp.</i>
				Elmidae	<i>Elmidae spp. (3 taxa)</i>
					<i>Heterlmis sp.</i>
		<i>Mycrocylloepus sp.</i>			
		<i>Phanocerus sp.</i>			
		<i>Hemerodromia sp.</i>			
		Hydrophilidae			<i>Hydrophilidae sp.</i>
		Dryopidae			<i>Dryopidae sp.</i>
		Dytiscidae		<i>Dytiscidae sp.</i>	
		Scirtidae		<i>Scirtidae sp.</i>	
		Gyrinidae		<i>Gyrinidae sp.</i>	
		Staphylinidae		<i>Staphylinidae sp.</i>	
		Leutrochidae		<i>Leutrochus sp.</i>	
		Ptilodactylidae		<i>Ptilodactylidae sp.</i>	
		Lepidoptera	Pyralidae	<i>Pyralidae sp.</i>	
		Hemiptera	Naucoridae	<i>Cryphocricos sp.</i>	
				<i>Ambrysus sp.</i>	
Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalus sp.</i>			
Diptera	Ceratopogonidae	<i>Ceratopogonidae spp.</i>			
	Empididae	<i>Empididae sp.</i>			
	Chironomidae	<i>Chironomidae sp.</i>			
	Simuliidae	<i>Simulium sp.</i>			

Continuación: Anexo2. Macroinvertebrados Acuáticos registrados para los ríos Tzetoc, Lachuá y Peyán por VanTuylen *et al.* (2006)

Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxón
Arthropoda	Insecta	Diptera	Stratiomyidae	Stratiomyidae sp.
			Tipulidae	Tipulidae spp.(2 taxa)
			Histeridae	Histeidae spp