



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE BIOLOGÍA**

**ECOLOGÍA**

**EFFECTO DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS EN LA ESTRUCTURA DE LA  
COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LOS LAGOS DE  
MONTEBELLO.**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**PRESENTA:**

**CLAUDIA LINA OROZCO MARTÍNEZ**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ**  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

**COMITÉ TUTOR: DRA. MARISA MAZARI HIRIART**  
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

**COMITÉ TUTOR: M. en C. ENRIQUE GONZÁLEZ SORIANO**  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

**MÉXICO, D.F., 2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Dr. Isidro Ávila Martínez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión del Subcomité por Campo de Conocimiento Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 25 de enero de 2016, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** de la alumna **OROZCO MARTÍNEZ CLAUDIA LINA** con número de cuenta 303091002 con la tesis titulada "Efecto de las variables fisicoquímicas en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los lagos de Montebello", realizada bajo la dirección del **DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ**:

Presidente: DR. ATILANO CONTRERAS RAMOS  
Vocal: DR. GERARDO RIVAS LECHUGA  
Secretario: DRA. MARISA MAZARI HIRIART  
Suplente: DRA. ALICIA CALLEJAS CHAVERO  
Suplente: M. EN C. ENRIQUE GONZÁLEZ SORIANO

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, Cd. Mx, a 16 de marzo de 2016.

*M. del Coro Arizandi*  
DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA  
COORDINADORA DEL PROGRAMA



c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado.

Al Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua CONAGUA-CONACyT por el financiamiento del proyecto denominado “Estudio Hidrológico y de Calidad del Agua del Sistema Lagunar de Montebello, en el estado de Chiapas”, clave 00000000167603. Bajo la coordinación técnica del Dr. Oscar Escolero Fuente del Instituto de Geología, UNAM.

A mi tutor el Dr. Luis Zambrano y a los miembros de mi Comité Dra. Marisa Mazari, y M. en C. Enrique González, por su tiempo, observaciones y sugerencias hechas durante la realización de este trabajo.

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A la mejor FAMILIA que alguien pudiese desear. Gracias por estar conmigo y apoyarme en TODO. **Las quiero mucho.** Y mi padre por su apoyo y consejos.

A mi jurado Tutor Dra. Alicia Callejas, Dr. Gerardo Rivas, Dr. Atilano Contreras, gracias por su gran ayuda , sus valiosas aportaciones y revisión de mi trabajo.

Al Biól. Rafael Barba por su valiosos consejos para la aprender a identificar macroinvertebrados acuáticos principalmente tricópteros y efemerópteros. Muchas gracias por compartir tus conocimientos, tiempo y material bibliográfico para identificar.

Al Dr. Roberto Bonifaz por su invaluable ayuda en el campo, y por incentivar el interés del grupo de trabajo en hacer ciencia que ayude a resolver problemas concretos de la sociedad en este caso de Montebello. Gracias por su compromiso.

A quienes laboran en el cubículo A-218 del Instituto de Biología, UNAM, a cargo del Dr. José Luis Villaseñor, por su apoyo, consejos y su interés en apoyar mi formación académica. GRACIAS INFINITAS.

A mis compañeros del LRE, gracias por los momentos divertidos, pero sobre todo por compartirme de sus momentos importantes.

Al M. en C. Ángel Merlo por muchas veces ayudarme a salir de las penumbras teóricas y por las divertidas charlas. Y all Biól. Fernando Córdova por su ayuda en mis momentos de dudas estadísticas.

A las comunidades de Hidalgo, Ojo de Agua, Antelá y Tzisco por permitirnos hacer nuestro trabajo científico en su territorio y a todos los participantes del proyecto de Montebello por siempre dar lo mejor para llevar a buen puerto este trabajo.

A la gente de la CONANP por todas las facilidades prestadas y a todas las personas que nos apoyaron en el trabajo de campo.

A mis amigas en un inicio de carrera y ahora de vida, gracias por soportarme en otro pedazo de camino amarillo, Joselin, Diana, Caro, Suz, Dany Ávila, Dany MB, Chare, Yoali, Zitla, Ely, Ale, May, Tere, Nalle, Elena, Diana Gar y Andrea Fernanada (mi yo en versión 6 años).

Y por supuesto a las personitas más divertidas y parlanchinas que hicieron más llevadero esta travesía Inari e Itzel, gracias a las dos por hacerme trascender más allá del compañerismo y volvernos amigas. En verdad les digo las quiero, pero sólo a ratos, es broma, las quiero siempre.

Mi agradecimiento mas fraterno para la familia de pescadores que nos acogió en Montebello: Don Alfredo, Doña Paty, Ricky, Are, Valeria, Gael, la miembro más joven de esta Inari. Gracias por su calidez y amistad.

A mis compas de lucha por aferrarnos a construir un mundo mejor, PCS y Totemh.

no somos simples números, ni casos aislados de la violencia de estado que vivimos en México.

en la actualidad luchar por el bien común es acto criminal, donde el matar y despojar se vuelve el sitio más normal para la clase poderosa.

no olvidamos nuestras luchas, porque somos pueblo “semilla de rebeldía”.

### ... Porque

los nadies soñamos con salir de pobres y que un día la buena suerte llueva a cantaros.

Los nadies: los hijos de nadie, los dueños de nada.

Los nadies: los ningunos, los ninguneados, corriendo la liebre, muriendo la vida, jodidos, rejodidos:

que no son, aunque sean....Galeano

buscamos **“Un mundo donde seamos socialmente iguales, humanamente diferentes y totalmente libres”**- Rosa Luxemburgo.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	1
<b>ABSTRACT</b>	2
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>HIPÓTESIS</b>	7
<b>OBJETIVOS</b>	8
<b>MÉTODO</b>	9
Sitio de estudio	9
Métodos de campo	11
Métodos de laboratorio	13
Identificación de macroinvertebrados	13
Métodos Analíticos	13
Análisis de datos	13
<b>RESULTADOS</b>	15
Descripción general de los lagos	16
Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos	23
Rarefacción	27
Diferencias de las variables fisicoquímicas y nutrientes entre lagos y por categorías de lagos.	28
Relación de las variables bióticas y abióticas entre los lagos	35
Grupos Tróficos	40
<b>DISCUSIÓN</b>	41
<b>CONCLUSIONES</b>	47
<b>REFERENCIAS</b>	48
<b>ANEXOS</b>	55

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

<b>Cuadro 1.</b> Variables físicas de los lagos del PNLM.	15
<b>Cuadro 2.</b> Presencia de familias en los lagos muestreados y sus respectivos valores de tolerancia. Los valores fueron tomados de Mandaville ( 2002).	37
<b>Cuadra 3.</b> Proporción en la que se distribuyen los diferentes grupos tróficos dentro de los lagos.	39
<b>Figura 1.</b> Mapa de localización de los puntos de muestreo en las temporadas del estudio dentro del PNLM.	12
<b>Figura 2.</b> Variables bióticas para medir la estructura de la comunidad entre lagos. (a) Abundancia de individuos, (b) Riqueza de familias y (c) Diversidad de familias. Las barras representan el error estándar.	25
<b>Figura 3.</b> Variables bióticas para medir la estructura de la comunidad por categoría de lagos. (a) Abundancia de individuos, (b) Riqueza de familias y (c) Diversidad de familias. Las barras representan la media $\pm 1$ desviación estándar.	26
<b>Figura 4.</b> Curva de rarefacción por lago basada en número total de individuos de macroinvertebrados acuáticos por lago.	28
<b>Figura 5.</b> Variables fisicoquímicas que presentaron diferencias significativas entre lagos. (a) Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), (b) Oxígeno disuelto (mg/L), (c) Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), (d) Distancia del disco de Secchi (m) y (e) pH (unidades de pH). Las barras representan la media $\pm 1$ desviación estándar.	29
<b>Figura 6.</b> Variables ambientales que presentaron significancia en lagos turbios y transparentes. (a) Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), (b) Distancia del disco de Secchi (m) y (c) Oxígeno Disuelto (mg/L). Las barras representan la media $\pm 1$ desviación estándar.	31
<b>Figura 7.</b> Nutrientes que presentaron significancia en lagos turbios y transparentes. (a) Nitrógeno total, (b) Fósforo total, (c) $\text{PO}_4$ . Las barras representan la media $\pm 1$ desviación estándar.	33
<b>Figura 8.</b> Nutrientes que presentaron significancia en lagos turbios y transparentes. (a) Nitrógeno total, (b) Fósforo total. Las barras representan la media $\pm 1$ desviación estándar.	34
<b>Figura 9.</b> Análisis de Correspondencias Canónicas, usando la abundancia de familias explicada con las variables fisicoquímicas y nutrientes.	38
<b>Figura 10.</b> Grupos tróficos de macroinvertebrados presentes en los lagos de Montebello.	40

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo I.</b> Cuadro de grupos tróficos por familia de macroinvertebrados acuáticos según la bibliografía.	55
<b>Anexo II.</b> Número de individuos de macroinvertebrados registrados en los lagos turbios de Montebello. $ni$ = número de individuos de la familia $i$ ; $pi$ =abundancia proporcional de la familia $i$ ( $pi=ni/N$ ). $N$ =total de individuos en cada lago.	57
<b>Anexo III.</b> Número de individuos de macroinvertebrados registrados en los lagos transparentes de Montebello. $ni$ = número de individuos de la familia $i$ ; $pi$ =abundancia proporcional de la familia $i$ ( $pi=ni/N$ ). $N$ =total de individuos en cada lago.	59
<b>Anexo IV a y b.</b> Variables bióticas entre lagos.	61
<b>Anexo V a y b.</b> Variables bióticas por categoría de lago.	62
<b>Anexo VI a.</b> Variables fisicoquímicas entre lagos.	62
<b>Anexo VI b.</b> Variables fisicoquímicas entre lagos.	63
<b>Anexo VII a.</b> Variables fisicoquímicas por categoría de lago.	63
<b>Anexo VII b.</b> Variables fisicoquímicas por categoría de lago.	64
<b>Anexo VIII a y b.</b> Nutrientes entre lagos.	64
<b>Anexo IX a y b.</b> Nutrientes por categoría de lago.	65
<b>Anexo X.</b> Correlación general de la abundancia contra las variables fisicoquímicas y nutrientes. Los valores de $r$ son los de la diagonal inferior y el los valores de la probabilidad exacta del error son los de la diagonal superior.	66
<b>Anexo XI.</b> Correlación de lagos transparentes, abundancia contra las variables fisicoquímicas y nutrientes. Los valores de $r$ son los de la diagonal inferior y el los valores de la probabilidad exacta del error son los de la diagonal superior.	67
<b>Anexo XII.</b> Correlación de lagos turbios, abundancia contra las variables fisicoquímicas y nutrientes. Los valores de $r$ son los de la diagonal inferior y el los valores de la probabilidad exacta del error son los de la diagonal superior.	68
<b>Anexo XIII.</b> Correlación de lagos turbios, riqueza contra las variables fisicoquímicas y nutrientes. Los valores de $r$ son los de la diagonal inferior y el los valores de la probabilidad exacta del error son los de la diagonal superior.	69
<b>Anexo XIV.</b> Correlación de lagos turbios, diversidad contra las variables fisicoquímicas y nutrientes. Los valores de $r$ son los de la diagonal inferior y el los valores de la probabilidad exacta del error son los de la diagonal superior.	70

## Resumen

A pesar de que el Parque Nacional Lagos de Montebello (PNLM) es una región terrestre prioritaria para la conservación (CONANP, 2009), el suelo se emplea principalmente para fines agrícolas, con uso intensivo de agroquímicos, además de asentamientos humanos cercanos a los cuerpos de agua, con impactos puntuales (Alvarado, 2015). Tales actividades alteran en distinto grado la calidad del agua de los lagos, lo cual modifica la dinámica interna, repercutiendo en las comunidades biológicas que los componen (Hairston y Hairston, 1993; Parra *et al.*, 2003; Medianero y Samaniego, 2004). Una de estas comunidades es la de los macroinvertebrados acuáticos, los cuales son útiles como indicadores de la calidad del agua debido a rasgos como su baja movilidad y ciclos de vida cortos, permitiendo evaluar cambios a largo plazo en un ambiente alterado (Medianero y Samaniego, 2004; Alonso y Camargo, 2005; González y Fajardo, 2013; Olomukoro y Dirisu, 2014). El objetivo de este trabajo fue conocer si las variables fisicoquímicas tienen algún efecto sobre la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de los lagos de Montebello. Para eso se realizó un muestreo en 13 lagos, en dos temporadas (seca y lluvias), que abarcaron el periodo de estratificación de algunos de los lagos. En cada punto se colectaron macroinvertebrados y se tomaron parámetros fisicoquímicos básicos (pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto). Los organismos colectados se preservaron en alcohol al 80% y se transportaron en frascos de plástico de 25 ml para su posterior identificación hasta el nivel de familia en el laboratorio. En cada sitio se calculó la abundancia, la riqueza, el índice de diversidad alfa de Fisher y el porcentaje de grupos tróficos. Además se hicieron modelos de regresión lineal y finalmente un análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) para conocer la relación entre la estructura de la comunidad de macroinvertebrados y los parámetros fisicoquímicos; el modelo de regresión lineal general demostró que la conductividad y los  $PO_4$  tienen un efecto sobre la abundancia de las poblaciones. Por su parte el CCA separó a los lagos en dos grupos, en relación a las variables fisicoquímicas (conductividad eléctrica y turbidez) contra la abundancia de familias de macroinvertebrados acuáticos encontrados en los lagos. Respecto a las familias de macroinvertebrados encontradas las menos tolerantes a las alteraciones se encuentran en los lagos transparentes, como la familia Hydroptilidea (Trichoptera), mientras que las más tolerantes se encuentran en los lagos turbios, como la familia Chironomidae (Diptera). Los resultados muestran que algunas variables fisicoquímicas tienen un efecto a nivel de población pero no a nivel de comunidad. Sin embargo, cambios en las variables fisicoquímicas muestran un efecto sobre la diversidad y la riqueza de las familias, las cuales aumentan en lagos transparentes y disminuyen en lagos turbios, mientras que la abundancia presenta una tendencia contraria, aumenta en lagos turbios y disminuye en lagos transparentes. Finalmente el grupo trófico dominante en todos los lagos fue el recolector, lo cual indica que los lagos presentan algún grado de alteración. Por lo tanto se puede concluir que los cambios en el entorno de los lagos son uno de los factores que están influyendo en la composición de comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

## Abstract

Although the National Park Lagos de Montebello (NPLM) is a priority region for conservation land (CONANP, 2009), there is a land use mainly for agricultural purposes, with intensive use of agrochemicals, also human settlements near water bodies, with specific impacts (Alvarado, 2015). Such activities change in different degrees water quality of lakes, which modifies the internal dynamics, affecting the biological communities that compose them (Hairston and Hairston, 1993; Parra et al., 2003; Mediator and Samaniego, 2004). One of these communities are aquatic macroinvertebrates, which are useful as indicators of water quality because of their features such as low mobility and short life cycles, allowing to evaluate long-term changes in an altered environment (Mediator and Samaniego, 2004; Alonso and Camargo, 2005; Gonzalez and Fajardo, 2013; Olomukoro and Dirisu, 2014). This research seeks to understand if environmental variables have an effect on the structure of aquatic macroinvertebrate community of the Montebello lakes. To sampling was carried out in 13 lakes in two seasons (dry and rainy), covering the period of stratification of some of the lakes. At each point, macroinvertebrates were collected and basic physicochemical parameters were taken. The collected organisms were identified to family level. At each site abundance, richness, alpha diversity index of Fisher and the percentage of trophic groups were calculated. Also linear regression models they were made and finally canonical correspondence analysis to determine the relationship between community structure of macroinvertebrates and physico-chemical variables, the general linear regression model showed that the conductivity and PO<sub>4</sub> have an effect on the abundance of populations. For its part the CCA separated the lakes for its gradient alteration, differentiating two groups: the turbid and clear, which it is based on the ratio of the physico-chemical variables (electrical conductivity and Secchi disc distance) and abundance of families of aquatic macroinvertebrates. Regarding the families of macroinvertebrates found, the least tolerant to changes were found in clear lakes, as Hydroptilidae (Trichoptera) family, while the most tolerant found in turbid lakes, such as Chironomidae (Diptera). The results show that some physicochemical variables have an effect at the population level but not at the community level. However, changes in the physico-chemical variables show an effect on the diversity and richness of families, which increase in clear lakes and decrease in muddy lakes, while the abundance presents a contrary trend, increases in murky lakes and decreases in lakes transparent. Finally the dominant trophic group in all the lakes was the collector, indicating that the lakes have some degree of alteration. Therefore, it can be concluded that changes in the lakes environment is one the factors that are influencing the composition of aquatic macroinvertebrate community.

## Introducción

El Parque Nacional Lagos de Montebello (PNLM) fue declarado Área Natural Protegida en el año 1959, debido a su alto valor biológico y con el objetivo de resguardar bienes y servicios tanto ecológicos como culturales (CONANP, 2009). Esta zona funciona como captadora de agua, regulador climático regional y corredor biológico (DOF, 2009; Durán *et al.*, 2014), y en el 2003 fue reconocido como sitio RAMSA (1325) (CONANP, 2009).

A pesar de ser una región terrestre prioritaria (clave 137-El Momóm-Montebello) (CONANP, 2009), existe un fuerte cambio de uso de suelo de forestal a agrícola en el parque, donde se cultiva café, frijol, jitomate y maíz; en la mayoría de estos cultivos se utilizan agroquímicos, (tanto fertilizantes como plaguicidas), que aumentan la productividad. La ampliación de las zonas de cultivo en las afueras del parque se asocia con un aumento en el uso de agroquímicos, lo cual pueden estar relacionado con la contaminación del agua en los distintos lagos del sistema lagunar (CFE, 2012; Durán *et al.*, 2014).

En 2003 se reportaron cambios en la coloración del agua de los lagos, pasando de cristalino a amarillo-verdoso y la presencia de natas blancas-amarillentas en las orillas del lago Liquidámbar, así como el olor fétido a compuestos azufrados, presentando una alta mortandad de peces. Posteriormente cada año entre los meses de diciembre a febrero se ha venido presentando el fenómeno de cambio de coloración del lago (Liquidámbar) extendiéndose hasta el lago Bosque Azul (DOF, 2009; CONANP, 2011; CFE, 2012).

Con la problemática reportada, en el 2009 la CONANP saca el primer reporte del programa de monitoreo del PNLM, donde hacen la evaluación de calidad del agua de cuatro lagos (Bosque Azul, la Encantada, Esmeralda y el control Agua Tinta), de los cuales se tomaron parámetros fisicoquímicos básicos (temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica). Donde sus resultados revelaron que el agua de los lagos no presenta índices de contaminación ya que los valores de los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los rangos máximos permisibles por las Normas Oficiales Mexicanas, NOM-001-ECOL-1996 y la NOM-CCA-031-ECOL-1993. En el 2011 sale el segundo reporte de la CONANP, donde sigue con el monitoreo de la calidad del agua, en donde amplía el número de lagos

muestreados (de cuatro a nueve) y adiciona a los parámetros fisicoquímicos de los lagos color y olor. La conclusión a la que llegan es igual a la del reporte de 2009. Para el 2012 la Comisión Federal de Electricidad (CFE) realiza su propio estudio para conocer la calidad del agua del PNLN, en el cual se toman datos de parámetros fisicoquímicos, nutrientes, turbiedad, dureza, metales pesados y coliformes fecales; el cual reporta condiciones reductoras basados en conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y potencial de oxido-reducción, lo que hace el ambiente anaerobio.

En el 2012 se promueve el proyecto “Estudio hidrológico y de calidad del agua del sistema lagunar de Montebello”, a través del Fondo Sectorial de investigación y Desarrollo sobre el Agua CONAGUA-CONACyT que reunió a diferentes grupos de investigación para identificar y caracterizar las causas y efectos del cambio en el agua de los lagos, proponiendo medidas de mitigación (Ávila García, 2015).

Se sabe que el PNLN presenta aproximadamente alrededor de 50 lagos con diferentes áreas, profundidades y tonalidades. La alimentación de las aguas lacustres es principalmente subterránea (Vásquez y Méndez, 1994; CONANP, 2011). Aquellos lagos con profundidades mayores a 30 m, generalmente presentan una estratificación monomíctica cálida, esto es con circulación en invierno, característica que permite la circulación y estratificación del sistema lacustre en un ciclo anual, creando fluctuaciones en las variables físicas y químicas en la columna de agua (Alcocer *et al.*, 2008; Alcocer *et al.*, 2010; Hernández-Morales *et al.*, 2011). La estratificación es importante debido a los impactos que tiene en la redistribución de nutrientes y oxígeno, lo que determina la comunidad biótica de cada lago (Lampert y Sommer, 1993; Wetzel, 2001; Boehrer y Schultze, 2008).

Los macroinvertebrados acuáticos (MIA) son una comunidad biótica abundante en la zona litoral de los lagos debido a la disponibilidad de sustratos, nutrientes y materia orgánica (Thorne y Williams, 1997). Se les denomina macroinvertebrados porque alcanzan una talla superior a 0.2 mm, lo que los hace visibles a simple vista (Rosenberg y Resh, 1993).

Para evaluar cambios en el agua de los sistemas acuáticos se pueden emplear variables físicas, químicas y biológicas, que nos proporcionan información sobre su estado (Medianero

y Samaniego, 2004). La comunidad de macroinvertebrados acuáticos es una buena indicadora de la calidad de los cuerpos de agua, debido a que presenta intervalos amplios de tolerancia a la contaminación orgánica, lo que significa que ante una alteración hay especies muy sensibles que pueden desaparecer o reducir su abundancia, como los tricópteros y efemerópteros, mientras que en las más tolerantes se observa un incremento en sus densidades cuando las otras ya han desaparecido, como sucede con algunas familias de dípteros (Chironomidae). También son buenos colonizadores de diferentes ambientes, presentan ciclos de vida cortos, alta diversidad taxonómica y recambio de especies (Medianero y Samaniego, 2004; Alonso y Camargo, 2005; González y Fajardo, 2013; Olomukoro y Dirisu, 2014).

Las variables fisicoquímicas básicas que son utilizados en diversos países para medir cambios en el agua, son: pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (Pérez Ortiz, 2005). Una de las ventajas de usar a los MIA como indicadores es que las variables fisicoquímicas sólo dan una idea puntual sobre el estado actual del agua, mientras que el estudio de las comunidades biológicas, ofrece información sobre la variación en el tiempo (Medianero y Samaniego, 2004; Olomukoro y Dirisu, 2014).

Los cambios en el entorno de los lagos modifican las interacciones bióticas y abióticas; por ejemplo la contaminación de la mayoría de los cuerpos de agua que existen en el planeta se debe principalmente a los vertidos procedentes de núcleos urbanos, actividades agrícolas, ganaderas o industriales sin tratamientos de depuración adecuados (Alonso y Camargo, 2005). Estas actividades alteran la dinámica de los lagos, y sus efectos negativos repercuten en las comunidades biológicas que componen al sistema modificando su estructura (Hairston y Hairston, 1993; Parra *et al.*, 2003; Medianero y Samaniego, 2004).

La contaminación por enriquecimiento de nutrientes, técnicamente denominada eutrofización (Wetzel, 2001), permite relacionar el estado de nutrientes en un lago y el aumento de la materia orgánica en el mismo (Fontúrbel, 2005; Moreno Franco *et al.*, 2010). En los sistemas acuáticos eutrofizados se altera la diversidad biológica, debido a que al aumentar la cantidad

de nutrientes y turbidez del agua, lo que disminuye la concentración de oxígeno disuelto. Esta baja o falta de oxígeno está relacionada con las actividades metabólicas de los organismos descomponedores que reciben excedentes de materia orgánica generados en la superficie (Hoback y Stanley, 2000; Angelier, 2002; Mazzeo *et al.*, 2002). Tal enriquecimiento favorece el crecimiento y la multiplicación del fitoplancton, lo que aumenta la turbidez del agua (Carpenter *et al.*, 1998; Vitousek *et al.*, 1997; Moreno Franco *et al.*, 2010); generando cambios en la estructura trófica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, ya que se da la disminución de otros recursos alimenticios como las plantas acuáticas o el perifiton que utilizan muchos invertebrados (Alonso y Camargo, 2005).

La estructura y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos presenta variaciones de acuerdo con la cantidad y tipo de materiales que ingresan al sistema (Mazzeo *et al.*, 2002), por lo que los grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos ayudan a entender las relaciones de las comunidades dentro del ecosistema; ayudando a mapear y a definir estructuras que pueda ser comparada entre diferentes sitios (Japsen y Winemiller, 2002; Chará-Serna *et al.*, 2010).

Desde una perspectiva funcional los grupos tróficos dejan ver atributos significativos relacionados con la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Rivera *et al.*, 2013), ofreciendo una visión amplia de la ecología del sistema. La presencia y abundancia de macroinvertebrados acuáticos refleja sus capacidades para explotar gran variedad de recursos orgánicos (Merritt y Cummings, 2008). Los grupos tróficos reflejan adaptaciones de las especies, lo que permite comparar y diferenciar a las comunidades (Tomanova *et al.*, 2006).

## **Hipótesis**

Si las variables fisicoquímicas en sistemas acuáticos se ven alteradas por contaminación orgánica se espera encontrar cambios en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los lagos de Montebello.

Lo que permite suponer que:

Lagos turbios tendrán patrones de riqueza y diversidad bajos, con patrones de abundancia altos, mientras que lagos transparentes presentaran riqueza y diversidad altas y abundancias bajas.

## **Objetivo General**

Averiguar si las variables fisicoquímicas tienen un efecto sobre la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los lagos de Montebello.

## **Objetivos Particulares**

- Describir a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de los lagos estudiados.
- Comparar la variación de la riqueza, diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos respecto a las variables fisicoquímicas y a los nutrientes entre los lagos.
- Conocer la relación entre la riqueza, abundancia y diversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos con las variables fisicoquímicas y los nutrientes.
- Establecer los grupos tróficos presentes en cada lago estudiado, con base en bibliografía, y comparar si la presencia entre ellos.

## **Método**

### **Sitio de estudio**

El Parque Nacional Lagos de Montebello se localiza en la parte sur-suroeste del estado de Chiapas en la frontera con Guatemala, cuenta con una superficie de 6,425 hectáreas y comprende los municipios de La Independencia y La Trinidad (16°04'40" y 16°10'20" Latitud Norte y 91°37'40" y 91°47'40" Longitud Oeste) con un intervalo de altitud que varía entre 1380-1740 m (CONANP, 2007).

Montebello se ubica en la región fisiográfica de la Altiplanicie de Chiapas y la Planicie Costera del Golfo, que forma parte de la provincia fisiográfica Sierras de Chiapas y Guatemala. Los lagos de Montebello comprenden a la Región Hidrológica Nacional No. 30 Grijalva-Usumacinta y forma parte de la subcuenca del río Grande de Comitán, que a su vez es parte de la cuenca del río Lacantún (CONANP, 2007; CFE, 2012).

Respecto a su geología predominan materiales de origen marino, con depósito de organismos y materiales sedimentarios que al consolidarse formaron rocas calizas, provenientes del mesozoico en la serie del cretácico inferior. (Durán *et al.*, 2014). Las calizas ligeramente plegadas de la zona de Montebello se caracterizan por la karstificación de las rocas, es decir, la disolución de los carbonatos por la actividad química del CO<sub>2</sub> en el agua (DOF, 2009). La mayor parte de los suelos del Parque se han desarrollado de calizas o de sedimentos fluviales lacustres (CONANP, 2007).

La geomorfología del PMLM es importante para entender parte de la dinámica de los lagos, Duran *et al.* (2014) reportó que los lagos se ubican en dos relieves diferentes, los lagos de la planicie aluvial (la mayoría son turbios) que incluyen a: Balamtetik, Chaj Chaj, Liquidambar, San Lorenzo, San José y Península. Y los lagos de laderas de montaña (la mayoría transparentes) que incluyen a: la Encantada, Esmeralda, Agua Tinta, Pojoj y Cinco Lagos. Los lagos Bosque Azul y Tziscaco se ubican en la confluencia de ambos tipos de relieve. Y el complejo lacustre que constituyen los lagos es de origen kárstico, extendido entre el territorio mexicano y guatemalteco. La alimentación de las aguas lacustres es principalmente subterránea (Vásquez y Méndez, 1994).

El río Grande de Comitán es el principal de la subcuenca que incluye al parque, está cargado de aguas negras provenientes de la ciudad de Comitán de Domínguez y otros poblados cercanos a los cuerpos de agua. Del agua que proviene del río Grande se sabe por un análisis microbiológico que las densidades de estos organismos varían en función de la presencia de actividades humanas en diferentes zonas de la cuenca, lo cual influye en el ecosistema (Hernández, 2015). El efecto de las aguas negras se ve reflejado en el cambio de coloración de los lagos de la cuenca baja (lagos turbios), comprende El Sistema Tepancoapan, el cual es un continuo de lagos (San Lorenzo, Bosque Azul, Península, Encantada, Esmeralda, Bartolo y Peñasquito) y mantienen comunicación por la inundación de sus áreas colindantes. El resto de los lagos se encuentra en una parte más alta de la cuenca (lagos transparentes), como Tzisco, Pojoj, Cinco Lagos, Agua Tinta entre otros (CONANP, 2007; Diario Oficial, 2009).

El clima que presenta la zona de estudio en el extremo Noroeste A(cm) es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, mientras que en el parque el clima es C(fm) templado húmedo con lluvias todo el año (CONANP, 2007; CFE, 2012). La precipitación media del mes más seco es menor a 40 mm. Durante la temporada de lluvia, la precipitación es de 1200 a 1400 mm, con 90 a 119 días de lluvia. El mes más húmedo es septiembre (DOF, 2009; CFE, 2012).

La vegetación predominante son bosques de pino, pino-encino-liquidambar, y mesófilo de montaña, los cuales albergan una importante riqueza biológica que incluye algunas especies protegidas. El parque está ubicado en la región terrestre prioritaria (clave 137-El Momón-Montebello); y en su función como corredor biológico proporciona hábitats para diversas especies de aves migratorias y permite la dispersión de la flora característica del macizo central hacia la región de los Altos de Chiapas (CONANP, 2011; DOF, 2009).

Por otro lado la fauna del parque alberga el 4% de la riqueza total estimada para México de mariposas, anfibios, reptiles, aves y mamíferos; y el 8.34% de la riqueza total de estos grupos en el Estado de Chiapas. Los registros que se tienen de la fauna conocida indican

102 especies de insectos, nueve de peces, 15 de anfibios, 35 de reptiles, 277 de aves y 65 especies de mamíferos (CONANP, 2007).

### **Métodos de Campo**

La colecta de ejemplares se llevó a cabo en trece lagos del Parque Nacional Lagos de Montebello, se realizaron dos colectas durante el año 2013, abarcando dos temporadas secas (abril) y lluvias (septiembre).

Las variables fisicoquímicas que se registraron fueron: temperatura, pH, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, potencial de oxido reducción, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica, los cuales se midieron con una sonda multiparamétrica (Hanna HI9828). Las mediciones se registraron a 30 cm de profundidad y de los mismos puntos se realizó la colecta de macroinvertebrados.

Los datos de nutrientes que se usan en el trabajo fueron medidos por el Dr. Martin Merino Ibarra, del laboratorio de Biogeoquímica Acuática, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

Adicionalmente a la toma de las variables ambientales se midió la turbidez del agua, en tres puntos diferentes de cada lago, utilizando el disco de Secchi. Este dato permite obtener una estimación de la turbidez del agua (Moreno Franco *et al.*, 2010). Con base en la coloración de las aguas observadas en campo se propuso una clasificación preliminar, lagos turbios y transparentes. Se consiguieron datos de la profundidad total, media y altitud, proporcionados por el Dr. Roberto Bonifaz, los cuales son importantes ya que proporciona información del posible tipo de estratificación que presentan los lagos.

En cada lago durante la temporada seca se tomaron cuatro puntos de colecta, mientras que en la temporada de lluvias fueron de seis a ocho puntos dependiendo de la dimensión del lago (Fig. 1). Existieron diferencias en el número de puntos de muestreo entre temporadas debido a cuestiones de logística. En cada punto de muestreo se colectaron

macroinvertebrados, se midieron variables ambientales (físicoquímicos básicos) y se registró su posición con el GPS (Garmin eTrex).

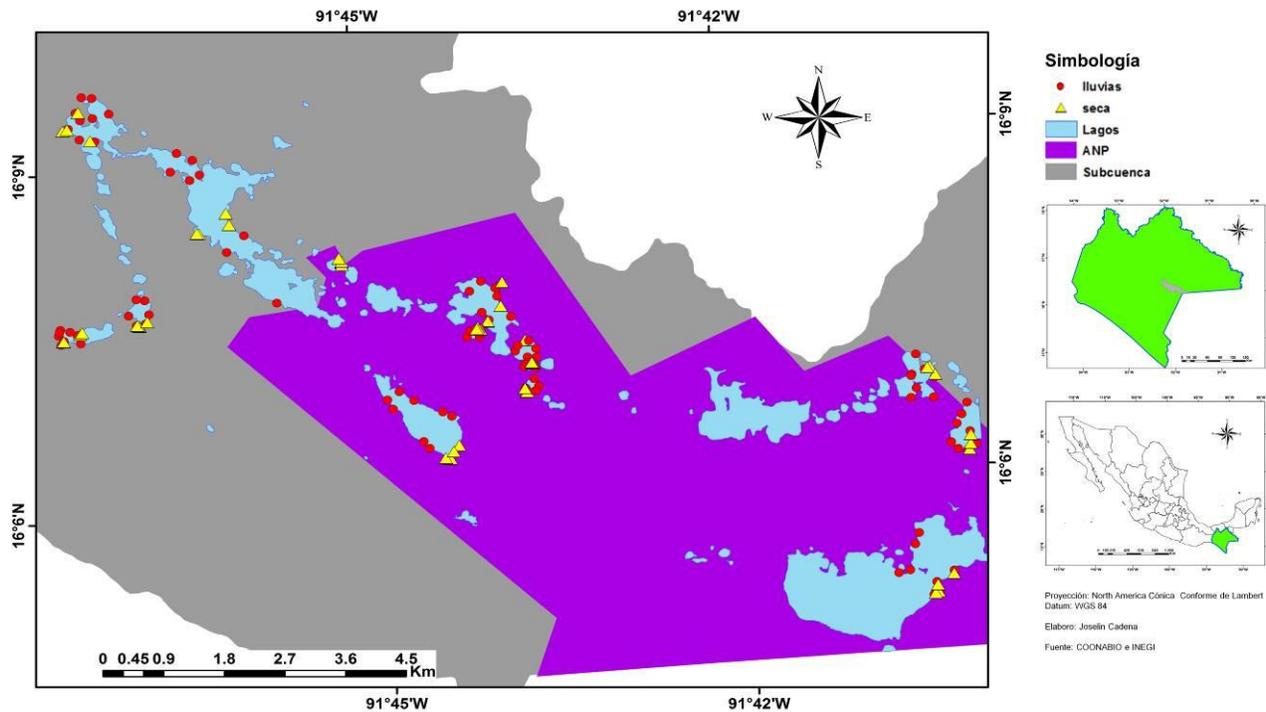


Figura 1. Mapa de localización de los puntos de muestreo en las temporadas del estudio dentro del PNLM.

Los macroinvertebrados se colectaron en las orillas de los lagos donde se usó una red de mano o D-net con abertura de malla de 500  $\mu\text{m}$  (Ramírez, 2010; Sermeño *et al.*, 2010). Las muestras se obtuvieron golpeando y arrastrando la red contra el sustrato por aproximadamente 1 minuto. En la temporada seca en cada punto se hicieron seis golpes con la red, en cuatro puntos y en lluvias se hicieron de tres a cuatro golpes, en seis u ocho puntos dependiendo del tamaño del lago.

La muestra obtenida era vertida en una charola blanca para seleccionar sólo a los macroinvertebrados. Posteriormente se depositaban en frascos de 25 ml con agua del lago y se les colocó su respectiva etiqueta. Finalmente las muestras se colocaron en frascos con alcohol al 80% para su posterior identificación en el laboratorio

## **Método de laboratorio**

### **Identificación de Macroinvertebrados**

Se procedió a la identificación de las larvas y ninfas de macroinvertebrados con la ayuda de un microscopio estereoscópico, así como claves y literatura especializada para su identificación como Burch y Cruz-Reyes, 1987; McCafferty, 1997; Merritt y Cummins, 1996; Novelo-Gutiérrez, 1997; Springer *et al.*, 2010. Posteriormente los organismos ya identificados y separados se almacenaron en frascos individuales de vidrio con alcohol al 80%, con sus respectivos datos de colecta e identificación. La determinación se hizo hasta el nivel de familia.

Una vez identificadas todas las familias se procedió a hacer la revisión bibliográfica de los grupos tróficos a los cuales pertenecían. Se construyó una tabla con la información consultada y se le asignó a cada familia el grupo trófico más recurrente en la bibliografía (Anexo I). Las referencias usadas fueron Cummins, 1973; Merritt y Cummins, 1996; Munguia *et al.*, 2004; Tomanova *et al.*, 2006; Oscoz, 2009; Chará-Serna *et al.*, 2010; Vázquez-Silva *et al.*, 2011; González y Fajardo, 2013; Rivera-Usme *et al.*, 2013; Merlo-Galeazzi, 2014.

## **Métodos analíticos**

### **Análisis de datos**

Se realizó un análisis exploratorio de los datos de abundancia y de las variables fisicoquímicas con el fin de detectar desviaciones de la normalidad y revisar el cumplimiento de la homogeneidad de varianzas (homocedasticidad). Se utilizaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors. Los datos de los parámetros fisicoquímicos se estandarizaron con el estadístico  $Z=0 (x_i-\bar{x})/\sigma$  y los datos de abundancia se transformaron con la fórmula  $L_n(x+1)$ .

Dependiendo del ajuste los datos se aplicaron pruebas paramétricas y no paramétricas, t-student, U de Mann-Whitney, Análisis de Varianza (ANOVA) y Kruskal-Wallis respectivamente, para detectar diferencias significativas entre categorías de lagos y entre lagos, en función de las variables bióticas y abióticas. Los análisis estadísticos se realizaron usando los programas R (versión 3.0.2), PAST (2.17 c) y Excel.

A los datos obtenidos de la identificación de macroinvertebrados se les calcularon medidas para comparar a las comunidades de acuerdo con riqueza, abundancia y diversidad (Alfa de Fisher). Además se hicieron curvas de rarefacción que permitieron comparar la riqueza y la abundancia entre los lagos.

Se utilizó el índice alfa de Fisher, pues éste no es afectado por el tamaño de muestra, sus valores son completamente independientes de esta variable y además es poco sensible a especies muy abundantes o escasas. Este índice es apropiado para realizar comparaciones entre sitios ya que sólo requiere conocer la riqueza y la abundancia (Moreno, 2001; Magurran, 2004).

Respecto a la rarefacción, este es un método que fue propuesto para comparar el número de especies cuando las muestras difieren en tamaño (Gotelli y Colwell, 2011), estima la riqueza de especies en función del tamaño de la muestra más pequeña (Gotelli y Entsminger, 2001).

El método de rarefacción que se usó fue el basado en individuos, a través del cual se estima la media del número de especies a través de sub-muestras repetidas al azar de  $n$  individuos a partir de la muestra original más pequeña (Gotelli y Colwell, 2011).

Para conocer los grupos tróficos en los lagos y ver si su presencia es la misma en los diferentes lagos, se elaboró una tabla de contingencia.

Finalmente para conocer la relación entre la estructura de la comunidad de macroinvertebrados con los parámetros fisicoquímicos y nutrientes, se calculó una tabla de correlaciones, modelos de regresión lineal y un análisis de correspondencias canónicas a nivel de familia, estos análisis permitieron inferir la relación de la estructura de la comunidad entre los lagos respecto a los factores ambientales.

## Resultados

De manera general los lagos se diferencian en profundos y someros en función de que exista o no estratificación térmica. El límite de 3 m de profundidad media es una medida aceptada para distinguir entre unos y otros (Bécares *et al.*, 2004). Sólo cuatro de los trece lagos son considerados someros, Esmeralda y Balamtetik porque presenta una profundidad media alrededor de 3 m, Liquidambar y San Lorenzo, porque no presentan estratificación, que es otra característica que se utiliza para distinguir entre lagos (J. Alcocer, comunicación personal, 27 de mayo 2015) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables físicas de los lagos del Parque Nacional Lagos de Montebello.

	Categoría por relieve	Altitud (msnm)	Profundidad Total (m)	Profundidad Media (m)	Turbidez (disco de Secchi) (m)	
					Seca	Lluvias
<b>San José</b>	Planicie aluvial	1454	30	10.3	4	2.02
<b>Península</b>	Planicie aluvial	1457	ND	ND	4.36	2.17
<b>Esmeralda</b>	Ladera de montaña	1461	7	3.6	4.3	3.72
<b>Agua Tinta</b>	Ladera de montaña	1465	24	14.7	5.1	5.33
<b>Pojoj</b>	Ladera de montaña	1499	198	35.2	14.77	21.37
<b>Cinco Lagos</b>	Ladera de montaña	1486	162	42.5	11.25	15.93
<b>Tziscao</b>	Intersección de ambos	1490	86	28.9	8.6	9.96
<b>Balamtetik</b>	Planicie aluvial	1446	3	1.7	0.4	0.1
<b>Chaj Chaj</b>	Planicie aluvial	1426	12	5.3	0.44	0.47
<b>Liquidámbar</b>	Planicie aluvial	1461	24	11.2	0.26	1.1
<b>San Lorenzo</b>	Planicie aluvial	1455	67	11.8	0.55	0.76
<b>Bosque Azul</b>	Intersección de ambos	1458	58	20	0.59	1.07
<b>La Encantada</b>	Ladera de montaña	1454	89	29.4	0.59	1.01

## Descripción general de los lagos

### Balamtetik

Se encuentra a una altitud de 1451 msnm. Su profundidad máxima es de 3 m y la media es de 1.7 m; la forma del lago es irregular indefinido, con un área base de 0.1316 km<sup>2</sup>. Es un lago turbio, con conexión hacia Chaj Chaj. La periferia del lago está conformada por pastizal inducido y agricultura de temporal. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicense* y *Schoenoplectus californicus*.

Balamtetik es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $24.5 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ ), un pH alcalino ( $7.7 \pm 0.33$ ), concentración de oxígeno disuelto ( $3.7 \pm 1.6$  mg/L) y conductividad eléctrica ( $556.2 \pm 240.4$   $\mu\text{S/cm}$ ).

Se colectó un total de 192 individuos, divididos en 14 familias, de las cuales las más abundantes fueron Baetidae (41 individuos), Chironomidae (79 individuos) y Physidae (32 individuos.). La familia Aeshnidae (1 individuo) sólo se registro en este lago (Anexo II).

### Chaj Chaj

Se encuentra a una altitud de 1451 msnm. Su profundidad máxima es de 16 m y la media es de 5.3 m; la forma del lago es irregular, con un área base de 0.0894 km<sup>2</sup>. Presenta una reducida zona litoral. Es un lago turbio, con conexión hacia Balamtetik y Liquidambar. La periferia del lago está conformada por pastizal inducido y agricultura de temporal. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicense* y *Polygonum mexicanum*.

Chaj-Chaj es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $25.6 \pm 1.3^{\circ}\text{C}$ ), un pH alcalino ( $7.9 \pm 0.36$ ), concentración de oxígeno disuelto ( $7.4 \pm 5.9$  mg/L) y conductividad eléctrica ( $412.2 \pm 60.9$   $\mu\text{S/cm}$ ).

Se colectó un total de 468 individuos, divididos en 18 familias, de las cuales las más abundantes fueron Chironomidae (299 individuos) y Glossiphoniidae (77 individuos) (Anexo II).

## Liquidambar

Se encuentra a una altitud de 1440 msnm, su profundidad máxima es de 21 m y la media es de 11.2 m; la forma del lago es irregular y en sus orillas se pueden encontrar pequeños “recodos”. El lago presenta un área base de 0.4004 Km<sup>2</sup> y la zona litoral es reducida. Es un lago turbio, con conexión hacia Chaj-Chaj y San Lorenzo. El tipo de vegetación que domina en la periferia es bosque de pino-encino en toda la parte noroeste-noreste, la parte sur del lago cuenta con una porción de pastizal inducido y agricultura de temporal. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicense* y *Schoenoplectus californicus*.

Liquidambar es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $27.3 \pm 1.8^{\circ}\text{C}$ ), un pH alcalino ( $7.9 \pm 0.36$ ), concentración de oxígeno disuelto ( $7.4 \pm 1.4 \text{ mg/L}$ ) y conductividad eléctrica ( $656.2 \pm 73.9 \mu\text{S/cm}$ ).

Se colectó un total de 656 individuos, divididos en 18 familias, de las cuales las más abundantes fueron Belostomatidae (52 individuos), Chironomidae (374 individuos), Coenagrionidae (77 individuos), Physidae (27 individuos), Planorbidae (22 individuos), y Scirtidae (33 individuos) (Anexo II).

## San Lorenzo

Se encuentra a una altitud de 1440 msnm. Su profundidad máxima es de 69 m y la media es de 11.8 m; la forma del lago es alargada e irregular. Presenta un área base de 1.7909 km<sup>2</sup>, con una zona litoral reducida. Es un lago turbio, con conexión hacia Liquidambar y Bosque Azul. La periferia del lago está conformada por pastizal inducido y agricultura de temporal. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicense* y gramíneas subacuáticas.

San Lorenzo es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $26.04 \pm 0.79^{\circ}\text{C}$ ), un pH alcalino ( $8.1 \pm 0.36$ ), concentración de oxígeno disuelto ( $7.2 \pm 1.5 \text{ mg/L}$ ) y conductividad eléctrica ( $501.1 \pm 177.9 \mu\text{S/cm}$ ).

Se colectó un total de 511 individuos, divididos en 17 familias, de las cuales las más abundantes fueron Chironomidae (389 individuos) y Coenagrionidae (67 individuos). Las familias Ephydriidae (1 individuo), Tabanidae (5 individuos), sólo se registraron en este lago (Anexo II).

### **Bosque Azul**

Se encuentra a una altitud de 1434 msnm. Su profundidad máxima es de 45 m y la media es de 20 m; la forma del lago es irregular. Presenta un área de 0.5145 Km<sup>2</sup>, con una zona litoral reducida. Es un lago turbio, con conexión hacia San Lorenzo y La Encantada, y en temporada de lluvia su zona oeste tiene comunicación con el lago Península mediante una zona inundable. El tipo de vegetación que domina en la periferia es bosque de pino. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicense*.

Bosque Azul es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $24.6 \pm 1.78^{\circ}\text{C}$ ), un pH alcalino ( $7.6 \pm 0.53$ ), concentración de oxígeno disuelto ( $3.9 \pm 2.1$  mg/L) y conductividad eléctrica ( $525 \pm 263.3$   $\mu\text{S/cm}$ ).

Se colectó un total de 1567 individuos, divididos en 9 familias, de las cuales las más abundantes fueron Chironomidae (1474 individuos) y Glossiphoniidae (55 individuos) (Anexo II).

### **La Encantada**

Se encuentra a una altitud de 1434 msnm. Su profundidad máxima es de 72 m y la media es de 29.3 m; la forma del lago es semicircular. Presenta un área de 0.0796 km<sup>2</sup>, con una zona litoral reducida. Es un lago turbio, con conexión hacia Bosque Azul, y en temporada de lluvia su zona suroeste tiene comunicación con el lago La Esmeralda mediante una zona inundable. El tipo de vegetación que domina en la periferia es bosque de pino. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicense*.

La Encantada es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $25.5 \pm 0.63^{\circ}\text{C}$ ), un pH alcalino ( $8.01 \pm 0.53$ ),

concentración de oxígeno disuelto ( $6.02 \pm 0.53$  mg/L) y conductividad eléctrica ( $372.6 \pm 62.3$   $\mu$ S/cm).

Se colectó un total de 1376 individuos, divididos en 7 familias, de las cuales las más abundantes fueron Chironomidae (1306 individuos) y Glossiphoniidae (28 individuos) (Anexo II).

### **Península**

Se encuentra a una altitud de 1457 msnm. La forma del lago es semicircular. Presenta un zona litoral reducida. Es un lago transparente, con conexión hacia Bosque Azul en temporada de lluvia su zona noreste mediante una zona inundable. El tipo de vegetación que domina en la periferia es bosque de pino. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicense* y *Eleocharis interstincta*.

Península es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $25.15 \pm 1.81^{\circ}$ C), un pH alcalino ( $7.92 \pm 0.31$ ), concentración de oxígeno disuelto ( $5.29 \pm 1.12$  mg/L) y conductividad eléctrica ( $299,8 \pm 19.47$   $\mu$ S/cm).

Se colectó un total de 422 individuos, divididos en 22 familias, de las cuales las más abundantes fueron Hyallellidae (318 individuos), Coenagrionidae (30 individuos) y Chironomidae (20 individuos) (Anexo III).

### **La Esmeralda**

Se encuentra a una altitud de 1456 msnm. Su profundidad máxima es de 6 m y la media es de 0.06 m; la forma del lago es semicircular. Presenta un área de 0.0106 km<sup>2</sup>, con una zona litoral reducida. Es un lago transparente, con conexión hacia Bosque Azul, y en temporada de lluvia su zona sureste tiene comunicación con el lago Encantada mediante una zona inundable. El tipo de vegetación que domina en la periferia es bosque de pino-encino-liquidambar. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicense* y existen algunas zonas con pastos tolerantes a la inundación como *Paspalum acuminatum*.

La Esmeralda es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $26.1 \pm 1.16^{\circ}$ C), un pH alcalino ( $7.7 \pm 0.14$ ),

concentración de oxígeno disuelto ( $6.05 \pm 2.34$  mg/L) y conductividad eléctrica ( $293.9 \pm 56.2$   $\mu$ S/cm).

Se colectó un total de 351 individuos, divididos en 21 familias, de las cuales las más abundantes fueron Hyalellidae (185 individuos) y Scirtidae (42 individuos). Las familias Hydrobiidae (1 individuo), Notonectidae (1 individuo) y Salpingidae (1 individuo), sólo se registraron en este lago (Anexo III).

### **San José**

Se encuentra a una altitud de 1454 msnm. Su profundidad máxima es de 27 m y la media es de 10.3 m; la forma del lago es irregular y alargada. Presenta un área de 0.5979 km<sup>2</sup>, con una zona litoral reducida. Es un lago transparente. El tipo de vegetación que domina en la periferia es bosque de pino. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicense*, *Eleocharis interstincta* y *Pontamogonon illinoensis* que es una macrófita sumergida.

San José es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $26.1 \pm 1.16$ °C), un pH alcalino ( $7.7 \pm 0.14$ ), concentración de oxígeno disuelto ( $6.05 \pm 2.34$  mg/L) y conductividad eléctrica ( $293.9 \pm 56.2$   $\mu$ S/cm).

Se colectó un total de 201 individuos, divididos en 16 familias, de las cuales las más abundantes fueron Hyalellidae (185 individuos) y Scirtidae (42 individuos). Las familias Hydrobiidae (1 individuo), Notonectidae (1 individuo), sólo se registraron en este lago (Anexo III).

### **Agua Tinta**

Se encuentra a una altitud de 1458 msnm. Su profundidad máxima es de 80 m y la media es de 14.7 m; la forma del lago es circular. Presenta un área de 0.0282 km<sup>2</sup>, con una zona litoral reducida. Es un lago transparente. El tipo de vegetación que domina en la periferia es bosque de pino-encino-liquidambar. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicens*.

Agua Tinta es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $23.6 \pm 1.75$  C), un pH alcalino ( $8.5 \pm 0.52$ ), concentración de oxígeno disuelto ( $6.12 \pm 0.91$ mg/L) y conductividad eléctrica ( $301.5 \pm 50.4$   $\mu$ S/cm).

Se colectó un total de 668 individuos, divididos en 25 familias, de las cuales las más abundantes fueron Calamoceratidae (50 individuos), Dugesiidae (90 individuos), Hyalellidae (303 individuos), Libellulidae (61 individuos), Nepidae (11 individuos) y Planorbidae (36 individuos). Las familias Glossosomatidae (1 individuo) y Ochteridae (1 individuo), se registraron sólo en este lago (Anexo III).

### **Cinco Lagos**

Se encuentra a una altitud de 1500 msnm. Su profundidad máxima es de 125 m y la media es de 42.5 m; la forma del lago es como un trébol de cuatro hojas. Presenta un área de 0.2301 km<sup>2</sup>, con una zona litoral reducida, pero en uno de sus brazos presenta una zona con una playa extensa. Es un lago transparente. El tipo de vegetación que domina en la periferia es bosque de pino-encino-liquidambar. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicens*.

Cinco Lagos es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $26.2 \pm 2.52$ °C), un pH alcalino ( $7.9 \pm 0.36$ ), concentración de oxígeno disuelto ( $5.19 \pm 0.83$  mg/L) y conductividad eléctrica ( $277.2 \pm 40.9$   $\mu$ S/cm).

Se colectó un total de 168 individuos, divididos en 12 familias, la más abundante fue Scirtidae (103 individuos) (Anexo III).

### **Pojoj**

Se encuentra a una altitud de 1480 msnm. Su profundidad máxima es de 169 m y la media es de 35.2 m; la forma del lago es de forma irregular con una pequeña isla en el centro. Presenta un área de 0.4296 km<sup>2</sup>, con una zona litoral reducida, pero en uno de sus brazos presenta una zona con una playa extensa. Es un lago transparente. El tipo de vegetación que domina en la periferia es bosque de pino-encino-liquidambar. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicens*.

Pojoj es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $25.2 \pm 0.94^{\circ}\text{C}$ ), un pH alcalino ( $8.2 \pm 0.19$ ), concentración de oxígeno disuelto ( $6.7 \pm 0.42 \text{ mg/L}$ ) y conductividad eléctrica ( $176.7 \pm 23.7 \mu\text{S/cm}$ ).

Se colectó un total de 310 individuos, divididos en 13 familias, la más abundante fue Ampullariidae (48 individuos) y Scirtidae (33 individuos) (Anexo III).

### **Tzisco**

Se encuentra a una altitud de 1470 msnm. Su profundidad máxima es de 87 m y la media es de 28.9 m; la forma del lago es irregular, presenta una zona estrecha que divide al lago en una parte muy amplia hacia la zona oeste del lago y en una parte más pequeña, la división de hecho la marca un pequeño islote. Presenta un área de  $3.5704 \text{ km}^2$ , hacia la zona sur y sureste del lago se ubica una playa amplia. Es un lago transparente. El tipo de vegetación que domina en la periferia es bosque de pino-encino-liquidambar. La vegetación emergente de la orilla está dominada por *Cladium jamaicens*. Y en otras zonas predominan especies como *Schoenoplectus californicus* que es una planta subacuática. En la zona de playa del lago Tzisco crecen *Scirpus Cernuus*. Este lago en particular se caracteriza por la existencia de un poblado de gran tamaño en la parte noroeste del lago.

Tzisco es un lago con las siguientes concentraciones promedio anuales de las variables fisicoquímicas: temperatura ( $23.5 \pm 1.94^{\circ}\text{C}$ ), un pH alcalino ( $8.3 \pm 0.18$ ), concentración de oxígeno disuelto ( $6.31 \pm 1.37 \text{ mg/L}$ ) y conductividad eléctrica ( $108.3 \pm 86.29 \mu\text{S/cm}$ ).

Se colectó un total de 398 individuos, divididos en 27 familias, de las cuales las más abundantes fueron Baetidae (25 individuos), Coenagrionidae (37 individuos.), y Hyalellidae (183 individuos.). Las familias Calopterygidae (9 individuos), Nocturidae (1 individuo), Simulidae (2 individuos), Xiphocentronidae (1 individuo), y el phylum Nematoda (1 individuo), sólo se registraron en este lago (Anexo III).

## Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos

Se encontraron un total de 7238 individuos, pertenecientes 52 familias, 15 órdenes, seis clases y cuatro phylum. El dominio taxonómico lo presentó la clase Insecta con 42 familias censadas (71.7 %), y dentro de esta clase los ordenes mejor representados fueron Diptera (11 familias), Hemiptera (10 familias) y Coleoptera (seis familias) (Anexos II y III). Las familias con mayores abundancias en los lagos fueron Chironomidae (56.2%), Hyalellidae (16.7%), Coenagrionidae (5.1%) y Scirtidae (3.9%). A excepción de Hyalellidae, las otras familias están presentes en todos los lagos.

De los taxa encontrados en los lagos, 26 familias caracterizaron a los lagos transparentes, sólo 7 fueron exclusivas de lagos turbios, y 18 familias se encontraron en ambas categorías de lagos (Anexos II y III).

La riqueza, diversidad y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados presentaron diferencias significativas entre lagos: diversidad ( $F_{(12,125)}=2.53$ ,  $p<0.05$ ), riqueza de familias ( $F_{(12,125)}=4.12$ ,  $p<0.000$ ), y abundancia de individuos ( $H=55.17$ ,  $p<0.000$ ) (Anexo IV a y IV b). Y también entre categoría de lagos (turbios y transparentes) diversidad ( $t_{(67)}=2.68$ ,  $p<0.05$ ), riqueza de familias ( $t_{(67)}=2.49$ ,  $p<0.05$ ), y abundancia de individuos ( $U=1704$ ,  $p<0.05$ ) (Anexo V a y V b).

Al compara entre lagos la abundancia tiende a aumentar hacia los lagos de planicie (Fig. 2 a), mientras que la diversidad y la riqueza presentan dos picos. La riqueza presenta sus aumentos en Agua Tinta y Liquidambar, y la diversidad los presenta en Balamtetik y Agua Tinta (Fig. 2b). El lago con la mayor riqueza y diversidad fue Agua Tinta, mientras que el lago la Encanta presentó la menor riqueza y diversidad, y la mayor abundancia de individuos (Fig. 2c). Respecto a la diversidad y riqueza los valores más altos se encontraron en dos lagos transparentes, Agua Tinta y Esmeralda. De las 26 familias encontradas en Agua Tinta cuatro fueron exclusivas de este lago (Verenidae, Macrovelidae, Ochteridae y Glossosomatidae) y de las 22 familias de la Esmeralda dos fueron exclusivas (Hydrobiidea y Notonectidae) (Anexo III).

Si la comparación se hace entre categorías de lagos la tendencia que se presenta es que la diversidad y la riqueza de familias tiende a aumentar en lagos transparentes y a disminuir en lagos turbios, mientras que la abundancia presenta una tendencia contraria aumenta en lagos turbios y disminuye en lagos transparentes (Fig. 3 a, b y c).

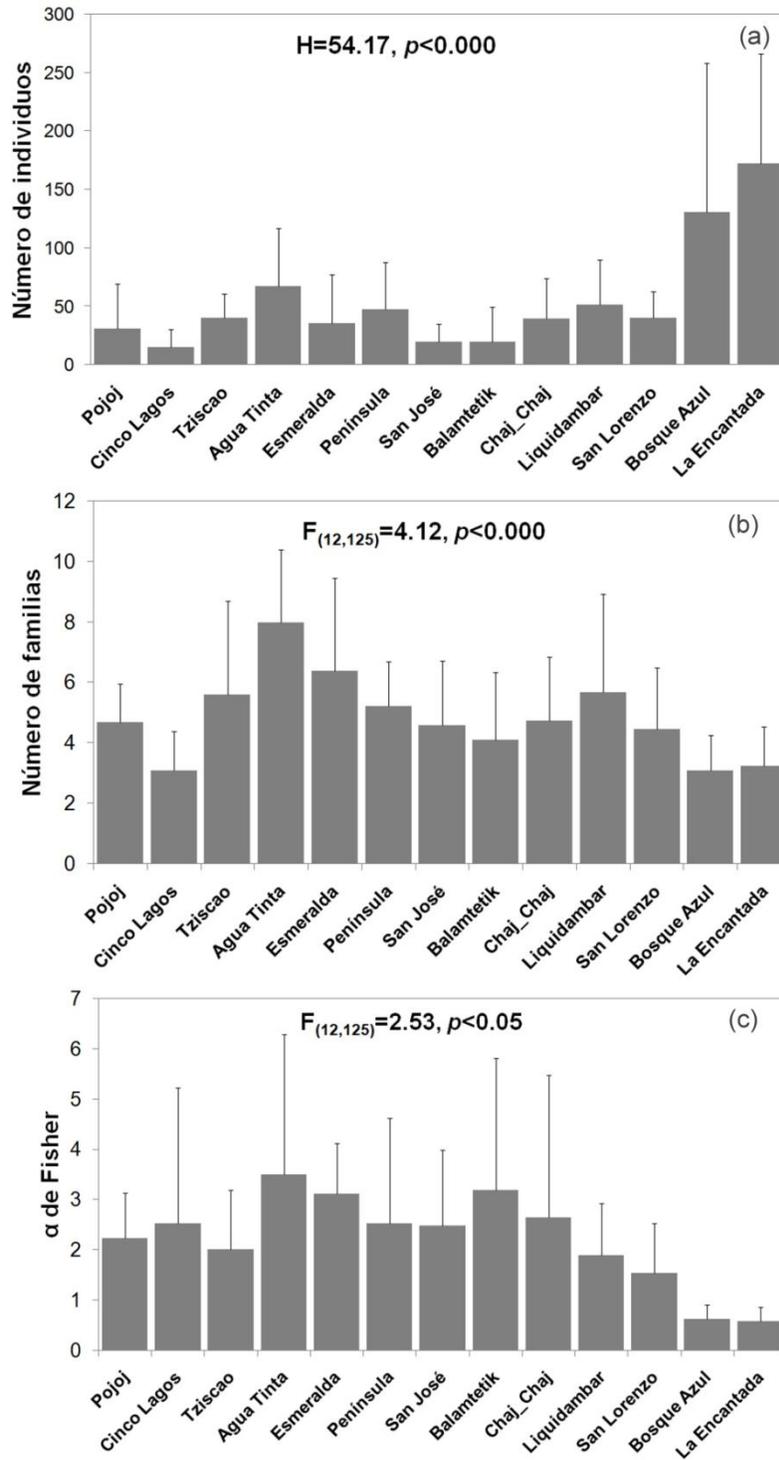


Figura 2. Variables bióticas para medir la estructura de la comunidad entre lagos. (a) Abundancia de individuos, (b) Riqueza de familias y (c) Diversidad de familias. Las barras representan el error estándar.

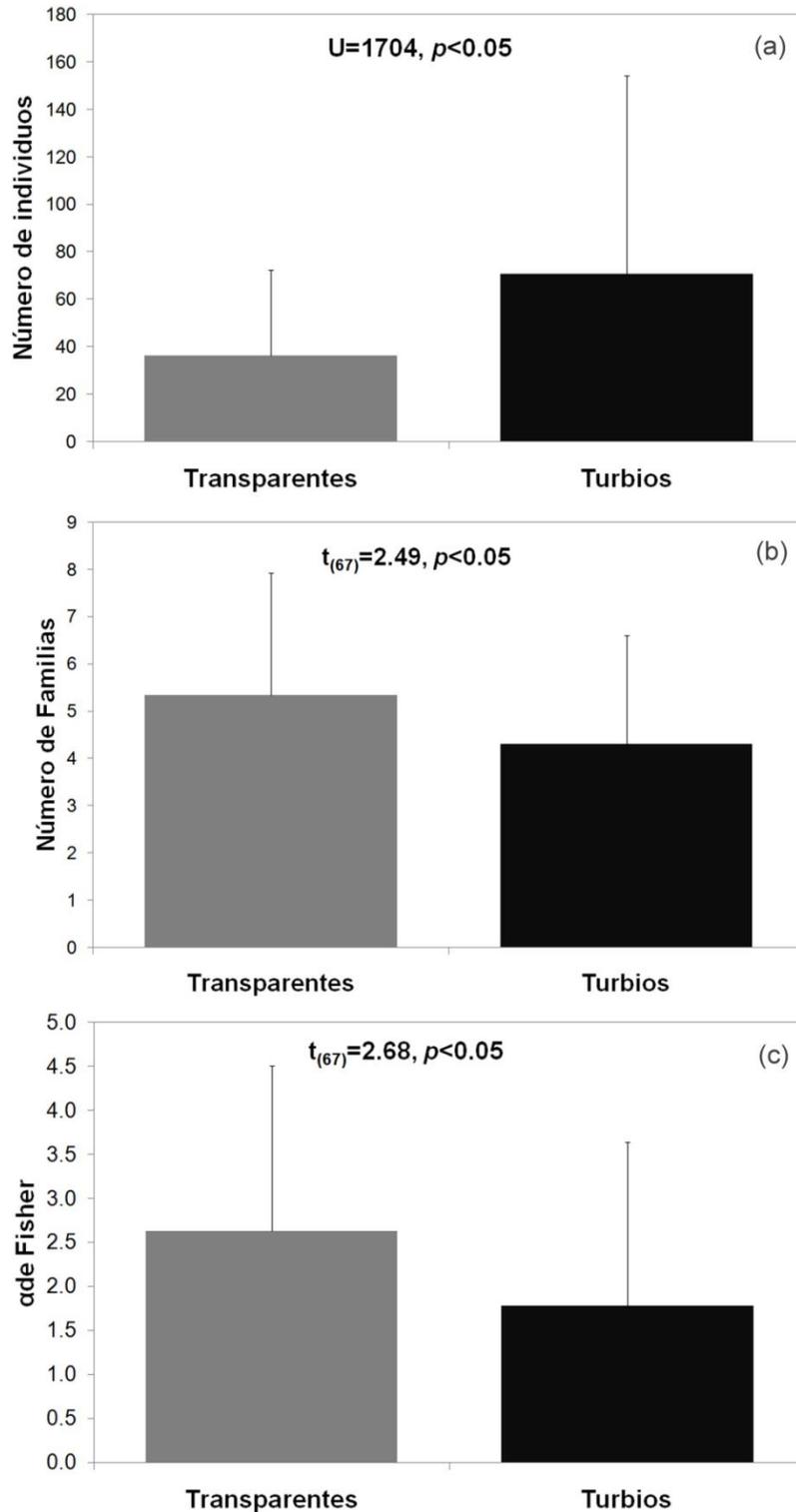


Figura 3. Variables bióticas para medir la estructura de la comunidad por categoría de lagos. (a) Abundancia de individuos, (b) Riqueza de familias y (c) Diversidad de familias. Las barras representan la media  $\pm 1$  desviación estándar.

Las familias que presentaron la mayor abundancia de individuos fueron Hyalellidae (1228 individuos) y Chironomidae (4131 individuos.) (Anexos II y III), la familia Chironomidae domina en los lagos turbios, y se encontró en todos los lagos, por su parte la familia Hyalellidae domina la mayoría de lagos transparentes, pero no se encontró en Cinco Lagos, y de los lagos turbios sólo estuvo presente en Chaj Chaj, con una abundancia baja. Además de Scirtidae y Coenagrionidae, estas últimas estuvieron presentes en todos los lagos, la diferencia de estas familias al comparar entre lagos radicó en la abundancia, Coenagrionidae fue más abundante en lagos de planicies (turbios) y Scirtidae fue más abundante en lagos de montaña (transparentes).

### **Rarefacción**

La cantidad de especies encontradas en los lagos muestra la formación de cuatro grupos (Fig. 4). El primer grupo lo integran La Encantada y Bosque Azul, respectivamente, en los cuales se identificaron entre ocho y nueve familias. El segundo grupo está integrado por Cinco Lagos y Pojoj, en los cuales se identificaron entre 12 y 13 familias. El tercer grupo está formado por Balamtetik, Chaj Chaj, Liquidambar y San Lorenzo, en los cuales se identificaron entre 15 y 20 familias. Y el cuarto grupo está formado por Península, San José, La Esmeralda, Agua Tinta y Tzisco en los cuales se identificaron entre 18 y 30 familias. Una diferencia importante entre los lagos es que los de planicie (turbios) presentaron baja diversidad de especies, presentando un taxón que domina la comunidad, la familia Chironomidae, mientras que las comunidades de lagos de montaña (transparentes) las abundancias de especies se reparten en tres familias principalmente Hyalellidae, Scirtidae y Dugesiididae, siendo la primera la más abundante en la mayoría de los casos.

Los lagos Agua Tinta, Pojoj, Liquidambar, Chaj Chaj, Bosque Azul y La Encantada, parecen haber alcanzado la asíntota, lo que indicaría que se logró coleccionar la riqueza representativa de tales lagos. El resto de los lagos que aún no han alcanzado la asíntota, necesitan más colectas y un mejor conocimiento de los hábitos de los taxa encontrados en los lagos para lograr coleccionar la riqueza representativa.

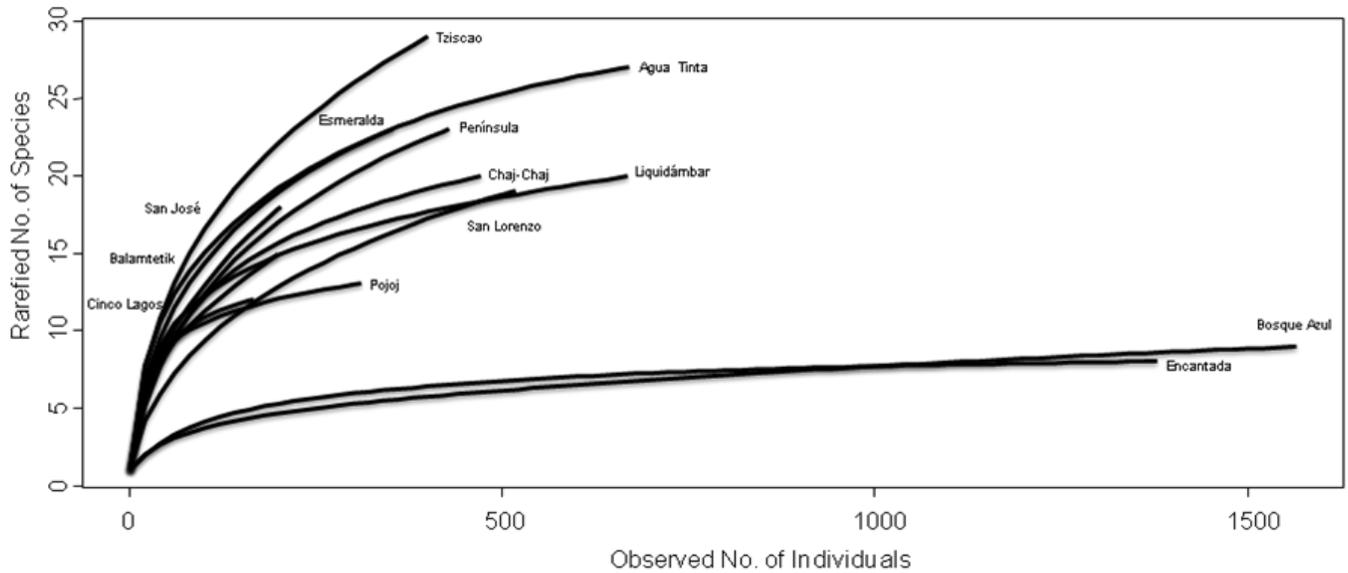


Figura 4. Curva de rarefacción por lago basada en número total de individuos de macroinvertebrados acuáticos por lago.

### Diferencias de las variables fisicoquímicas y nutrientes entre los lagos y por categorías de lagos

Al analizar las variables fisicoquímicas superficiales entre lagos, las que presentaron diferencias significativas fueron la temperatura ( $F_{(12,125)}=5.16$ ,  $p<0.000$ ), el pH ( $F_{(12,125)}=5.10$ ,  $p<0.000$ ), el oxígeno disuelto ( $F_{(12,125)}=3.41$ ,  $p<0.000$ ), la conductividad eléctrica ( $H=104.1$ ,  $p<0.000$ ) y la distancia del disco de Secchi ( $H=45.28$ ,  $p<0.000$ ) (Anexo VI a y VI b).

La temperatura y el pH varían poco entre lagos, el oxígeno disuelto presenta fluctuaciones donde los valores más bajos se presentan en el lago Balamtetik y Bosque Azul, ambos con la misma concentración (3.77 mg/L) (Fig. 5). Cabe mencionar que Balamtetik es donde da inicio del Sistema Lagunar y es la conexión con el Rio Grande de Comitán. El lago Bosque Azul es el penúltimo lago de los denominados turbios que mantiene conexión con el resto de este grupo por una serie de canales artificiales. La distancia de Secchi presenta una tendencia de mayor a menor, de lagos de montaña a lagos de planicie (Fig. 5).

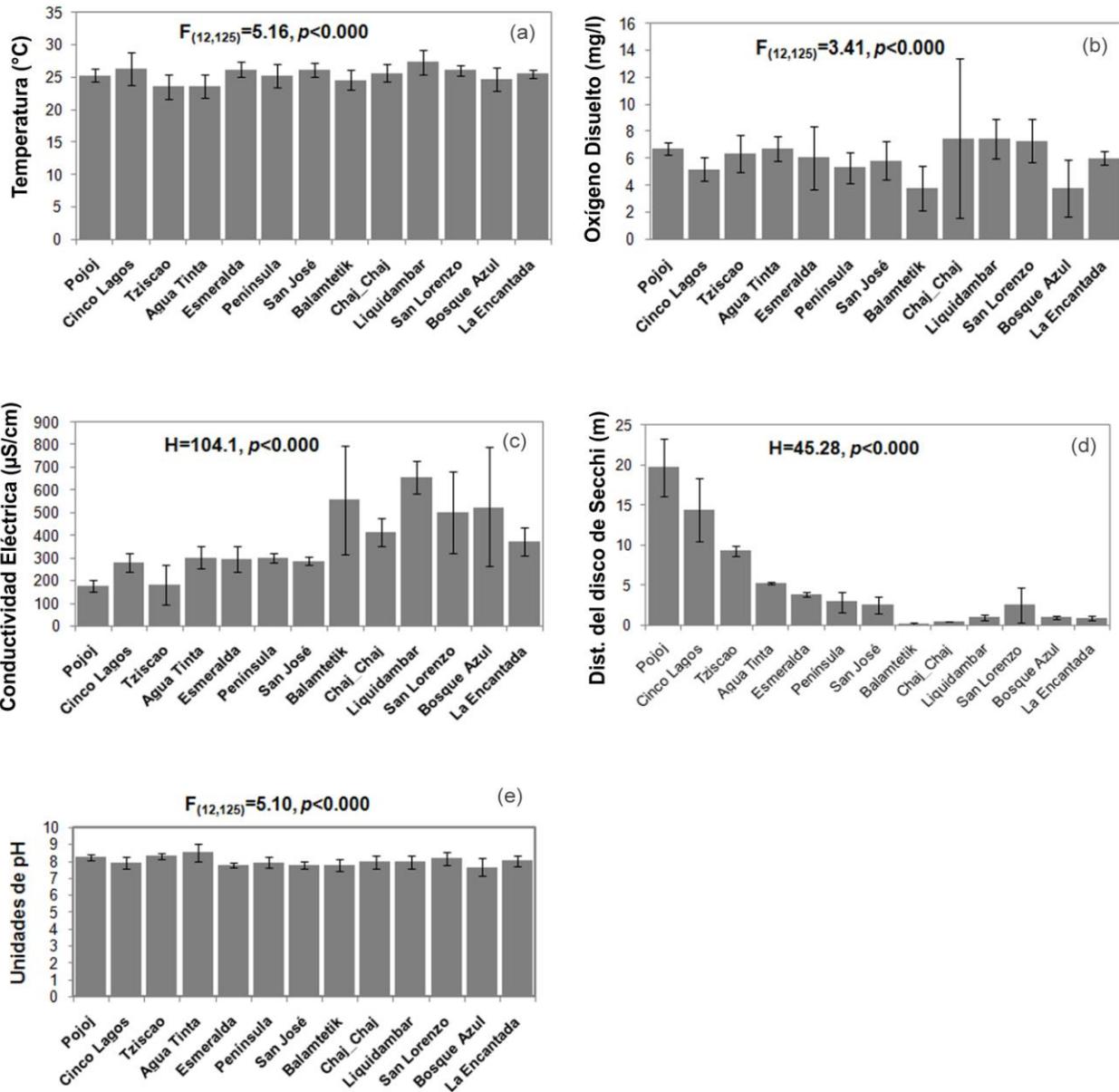


Figura 5. Variables fisicoquímicas que presentaron diferencias significativas entre lagos. (a) Temperatura (°C), (b) Oxígeno disuelto (mg/L), (c) Conductividad eléctrica (µS/cm), (d) Distancia del disco de Secchi (m) y (e) pH (unidades de pH). Las barras representan la media  $\pm 1$  desviación estándar.

Al comparar los lagos entre categorías se observa que la conductividad eléctrica y la distancia del disco de Secchi presentan una relación inversa, la conductividad eléctrica va de mayor concentración en lagos turbios a menor en lagos transparentes, mientras que la distancia del disco de Secchi va de mayor distancia en lagos transparente a menor en lagos turbios (Fig. 6 a y b). Respecto al oxígeno disuelto, hay diferencias significativas pero los datos no muestran una tendencia clara. (Fig. 6 c).

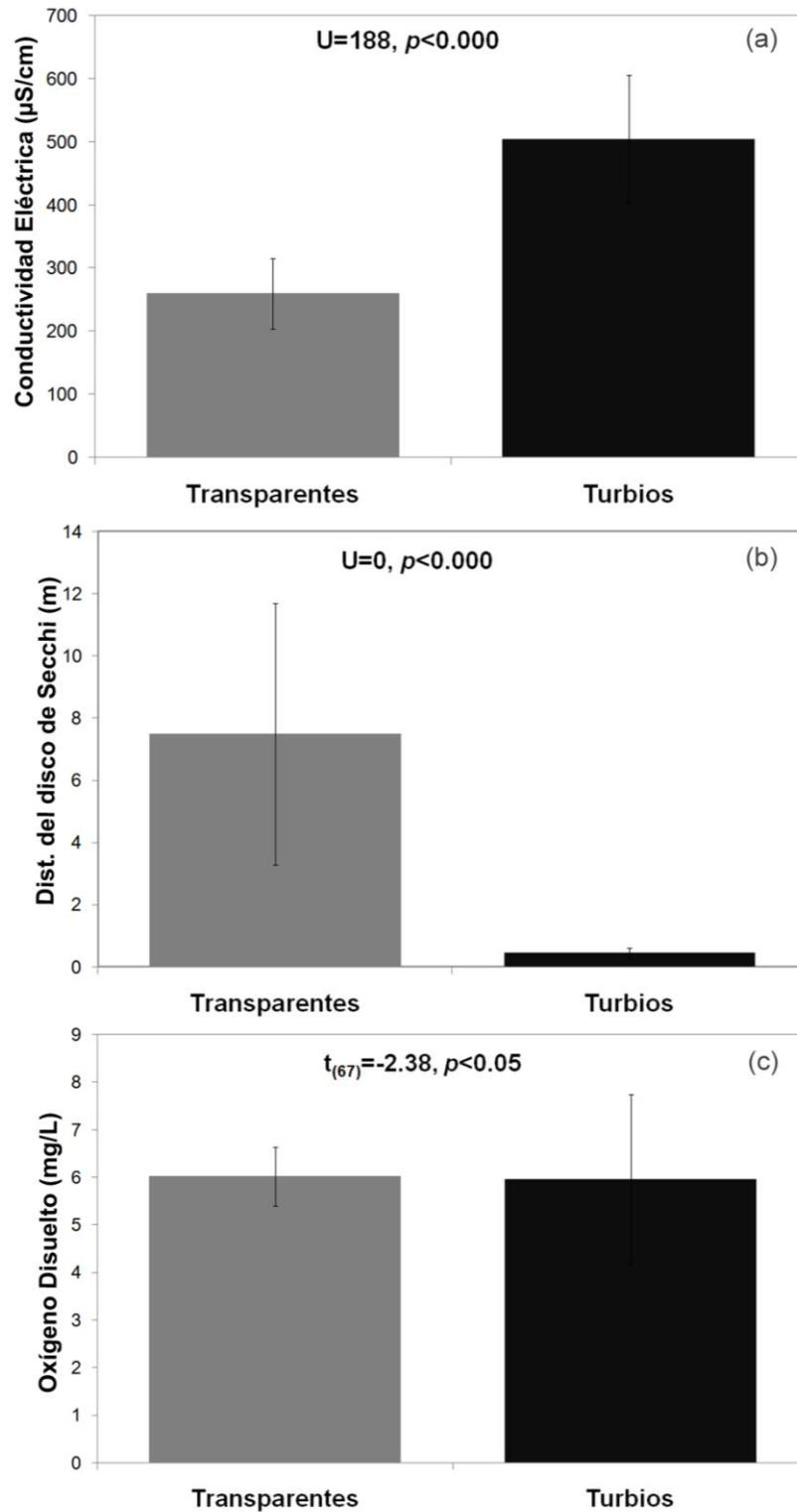


Figura 6. Variables ambientales que presentaron significancia en lagos turbios y transparentes. (a) Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ ), (b) Distancia del disco de Secchi (m) y (c) Oxígeno Disuelto (mg/L). Las barras representan la media  $\pm 1$  desviación estándar.

Con respecto a los nutrientes, al comparar entre lagos se observa que las formas que presentan fósforo ( $\text{PO}_4$  y el Ptotal) y el nitrógeno total fueron los que presentaron diferencias significativas; fósforo total ( $F_{(5,12)}=11.08$ ,  $p<0.000$ ), fosfato ( $H=13.51$ ,  $p<0.05$ ), y nitrógeno total ( $F_{(5,12)}=10.18$ ,  $p<0.000$ ) (Anexo 8 a y b). Donde las concentraciones más altas de nutrientes se encuentran en los lagos de planicie (Fig. 7 a, b y c). Las diferencias significativas entre el fósforo total y el nitrógeno total son relevantes ya que indican diferencias en el estado trófico de los lagos.

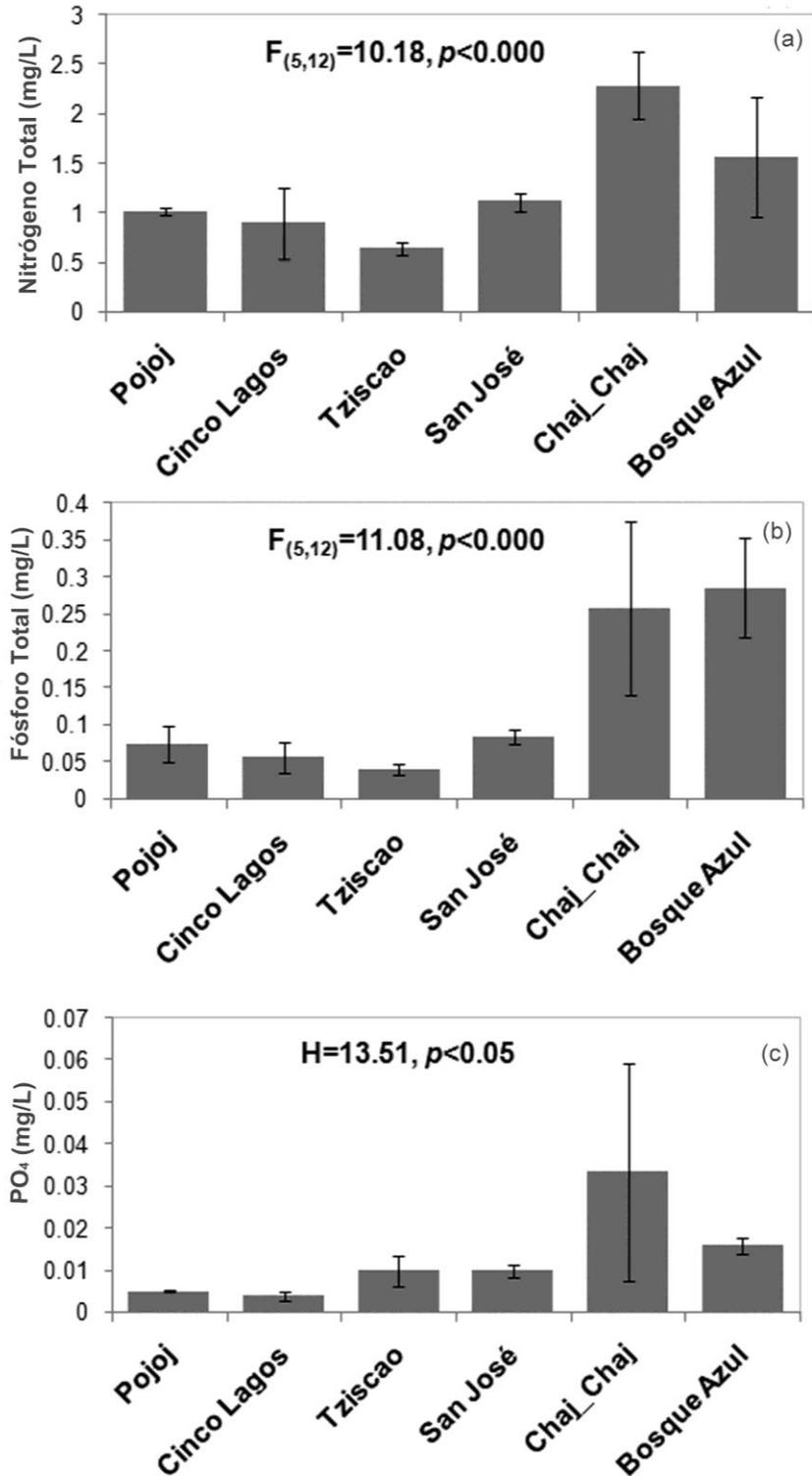


Figura 7. Nutrientes que presentaron significancia entre lagos. (a) Nitrógeno total, (b) Fósforo total, (c) PO<sub>4</sub>. Las barras representan la media ±1 desviación estándar.

Así mismo existen diferencias significativas por categoría de lago en los mismos nutrientes, nitrógeno total ( $t_{(14)}=-4.15$ ,  $p<0.000$ ) y fósforo Total ( $t_{(14)}=-5.87$ ,  $p<0.000$ ) (Anexo IX a y b). El patrón que muestran los nutrientes es ser más altos en lagos turbios que en transparentes (Fig. 8)

Como ambos análisis mostraron las mismas tendencias, al usar la clasificación del estado trófico basada en nutrientes tendríamos que los límites son: oligotróficos (Nt < 0.4 y Pt < 0.015 mg/L), mesotróficos ( Nt 0.4-0.6 y Pt 0.015-0.02 mg/L), eutrófico ( Nt 0.6-1.5 y Pt 0.025-0.1 mg/L) e hipereutrófico (Nt >1.5 y Pt >0.1 mg/L), basados en la OCDE (Moreno Franco *et al.*, 2010). Sin embargo en 2001 el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) realizó una metodología para evaluar la eutroficación en lagos cálidos tropicales, donde las categorías establecidas para fósforo total son: oligotrófico (< 0.0213 mg/L), mesotrófico (>0.0396 - <0.1187) y eutrófico (>0.1187). Ya que los lagos de Montebello presentaron nitrógeno total promedio y fósforo total promedio altos, lagos turbios (Nt=1.7 ± 0.6, Pt=0.2 ± 0.07) y lagos transparentes (Nt=0.9 ± 0.2, Pt=0.06 ± 0.02); está clasificación los pone dentro de Eutro-Hipereutróficos a los lagos turbios y como Meso-eutróficos a los lagos transparentes.

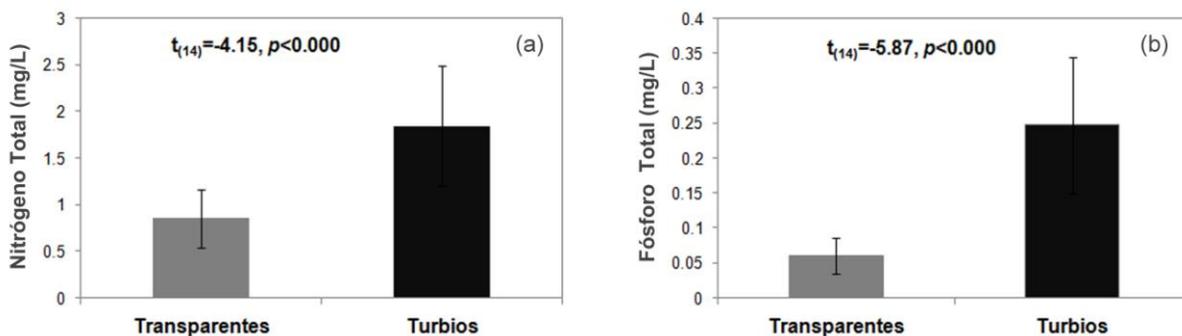


Figura 8. Nutrientes que presentaron significancia en lagos turbios y transparentes. (a) Nitrógeno total, (b) Fósforo total. Las barras representan la media  $\pm 1$  desviación estándar.

## **Relación de las variables bióticas y abióticas entre los lagos y por categoría de lagos**

Con la exploración preliminar de los datos se decidió realizar un análisis de regresión lineal, la tabla de correlación de Pearson entre las propiedades emergentes de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos contra las variables fisicoquímicas y los nutrientes entre lagos (Anexo X) muestra que sólo existen relaciones entre la abundancia con la conductividad eléctrica ( $r=0.7345$ ,  $p<0.05$ ) y el fosfato ( $r=0.6659$ ,  $p<0.05$ ); ambos se correlacionan entre ellos ( $r=0.9168$ ,  $p<0.05$ ). Ambos fueron significativos y presentaron valores de  $r$  positivos, lo que significa que esos parámetros tienen una relación directa. Donde al aumentar uno el otro también aumenta.

Respecto a la correlación entre categorías de lagos, para los transparentes la abundancia sólo se relaciono con el amonio ( $r= -0.8595$ ,  $p=0.05$ ) (Anexo XI). En los turbios la abundancia se relaciono con la distancia del disco de Secchi ( $r=0.82$ ,  $p=0.05$ ) (Anexo XII), la riqueza con los nitratos ( $r=-0.8471$ ,  $p=0.05$ ) (Anexo XIII) y la diversidad fue la que presento más correlaciones: el oxígeno disuelto ( $r=-0.8429$ ,  $p=0.05$ ), la conductividad eléctrica ( $r=-0.8396$ ,  $p=0.05$ ), los nitratos ( $r=-0.8605$ ,  $p=0.05$ ) y el fósforo total ( $r=0.8698$ ,  $p=0.05$ ) (Anexo XIV).

Se hicieron cuatro modelos de regresión, el primer modelo fue el general (relación entre lagos) donde los criterios para decidir la solides de este se basaron en la cantidad explicada de variabilidad de la abundancia, que fue cercana al 45% ( $R^2$  ajustada=0.456). Asimismo, el ANOVA de la regresión indicó una diferencias significativas entre las medias de las variables independientes y la variable dependiente, ( $F_{(11,2)}=6.45$ ,  $p<0.05$ ). Pero al elegir las variables predictivas y confrontar los coeficientes de regresión de la conductividad eléctrica (0.7177,  $p>0.05$ ) y el fosfato (-0.0412,  $p>0.05$ ), el primero presentó un valor positivo, mientras que el segundo fue negativo, pero ninguno fue significativo.

Los modelos del dos al cinco fueron comparaciones entre categorías de lagos (turbio y transparente). Donde para lagos transparentes, el segundo modelo explicó el 69.5% ( $R^2$  ajustada=0.6953) de la relación de la abundancia con el amonio ( $\text{NH}_4$ ). Y el ANOVA de la regresión indico diferencias significativas entre la media de las variable independiente y la

variable dependiente, ( $F_{(6,1)}=16.9$ ,  $p<0.05$ ). El coeficiente de regresión del  $\text{NH}_4$  (-0.8490,  $p<0.05$ ) fue negativo y significativo.

Los restantes dos modelos fueron relaciones entre lagos turbios, aquí el tercer modelo explicó el 59% ( $R^2$  ajustada=0.5905) de la relación de la abundancia con la distancia del disco de Secchi. Donde el ANOVA de la regresión indico diferencias significativas entre la media de las variable independiente y la variable dependiente, ( $F_{(4,1)}=8.2$ ,  $p<0.05$ ). El coeficiente de regresión de la distancia del disco de Secchi (12.73,  $p<0.05$ ) fue positivo y significativo. En el cuarto modelo fue la relación entre la riqueza contra los nitratos ( $\text{NO}_3$ ) explicando el 64.7% ( $R^2$  ajustada=0.6471) y el ANOVA de la regresión indico diferencias significativas entre la media de las variable independiente y la variable dependiente, ( $F_{(4,1)}=10.17$ ,  $p<0.05$ ). El coeficiente de regresión de los nitratos (-1.22,  $p<0.05$ ) fue negativo y significativo

Finalmente el Análisis de Correspondencia Canónicas parece separar a los lagos por su gradiente de alteración mostrando que los lagos se pueden diferenciar bien en dos grupos (Fig. 9), donde la relación entre las variables ambientales (físicoquímicos y nutrientes) contra la abundancia de familias explica el 75.75% de la variación de los datos usando diez de las quince variables ambientales que se midieron. Según la evaluación del modelo, incluyendo a todas las variables seleccionadas este es el mejor con un valor de AIC= 53.83. Aparentemente las variables ambientales más importantes para explicar este modelo son la conductividad eléctrica (0.7365) que es antagónica a la distancia del disco de Secchi (-0.8323) y el fósforo total (-0.8323) en el primer componente. El oxígeno disuelto (0.6288) y la temperatura (-0.4229) que también son antagónicas en el segundo componente. Además se puede observar que los lagos de planicie se encuentran más cercanos entre ellos, lo cual nos habla de que la variación entre ellos es menor. Mientras que los lagos de montaña se encuentran más alejados indicando que existe un gradiente de variación mayor entre ellos. Respecto a la distribución de las familias de macroinvertebrados acuáticos encontrados, las registradas como menos tolerantes a la contaminación orgánica se ubican del lado de los lagos transparentes, mientras que las más tolerantes se ubican con los lagos turbios (Cuadro 2 y Fig. 9).

Cuadro 2. Presencia de familias en los lagos muestreados y sus respectivos valores de tolerancia. Los valores fueron tomados de Mandaville ( 2002).

<b>Todos</b>	<b>Ambos</b>	<b>Transparentes</b>	<b>Turbios</b>
Chironomidae	● Ampullariidae	Athericidae	◇ Aeshnidae ◇
Coenagrionidae	● Beaetidae	□ Caenidae	● Ephydriidae △
Scirtidae	Belostomatidae	Calamoceratidae	◇ Gerridae
	Cambaridae	△ Calopterygidae	□ Mesoveliidae
	Ceratopogonidae	△ Culicidae	Staphylinidae
	Corixidae	Dugesiidae	□ Tabanidae △
	Dixidae	Glossosomatidae	◇ Tipulidae ◇
	Dysticidae	Gyrinidae	
	Elmidae	□ Hydrobiidae	
	Glossiphoniidae	● Hydroptilidae	□
	Hyaellidae	● Leptoceridae	□
	Hydrophilidae	Leptohyphidae	
	Macroveliidae	Leptophlebiidae	◇
	Nepidae	Libellulidae	●
	Physidae	● Lymnaeidae	△
	Planorbidae	□ Muscidae	△
	Stratiomyidae	Naucoridae	
	Verenidae	Nematoda	
		Noctuidae	
		Notonectidae	
		Ochteridae	
		Polycentropodidae	△
		Salpingidae	
		Simullidae	△
		Veliidae	
		Xiphocentronidae	

Tolerancia

◇ baja (0-3-75)

□ media-baja (3.76-5)

△ media-alta (5.01-6.50)

● alta (6.51-10)

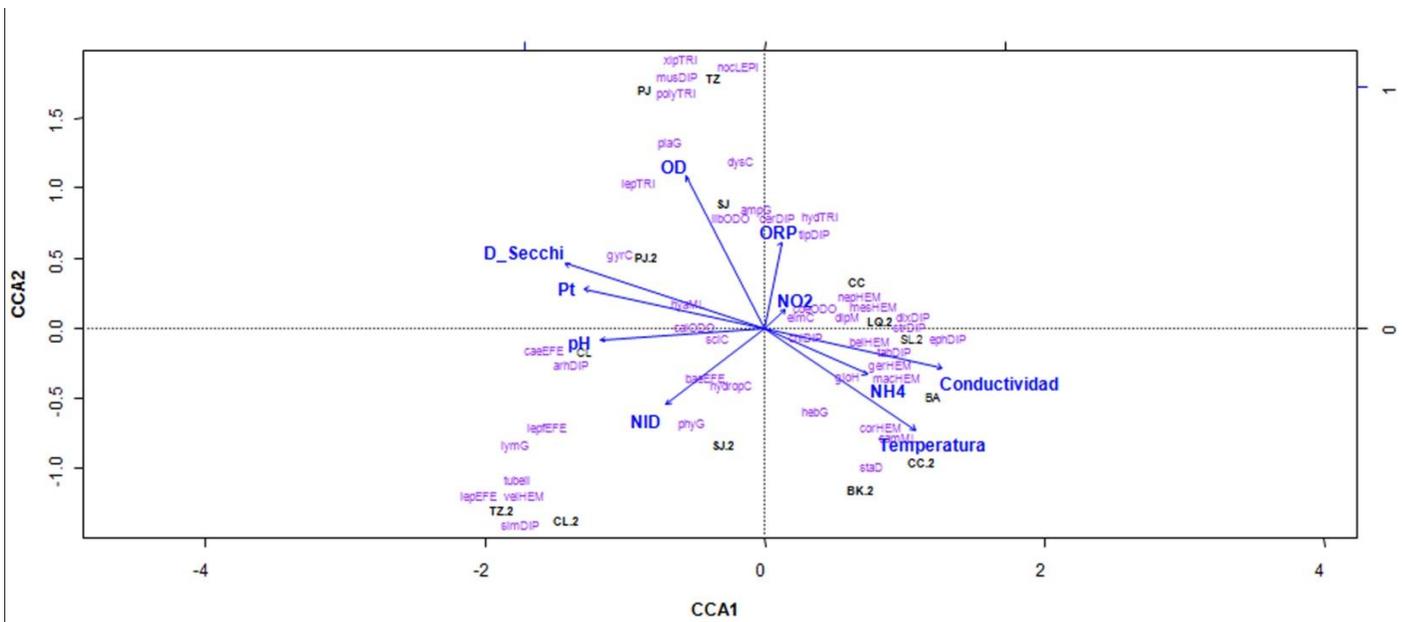


Figura 9. Análisis de Correspondencias Canónicas, usando la abundancia de familias explicada con las variables fisicoquímicas y nutrientes.

Leyenda de las familias en el grafico de CCA

Familia	Clave	Familia	Clave	Familia	Clave	Familia	Clave
Dugesidae	tubell	Elmidae	elmC	Ephyridae	ephDIP	Notonectidae	nothem
Glossiphoniidae	gloH	Gyrinidae	gyrC	Baetidae	baeEFE	Ochteridae	ochHEM
Verenidae	verG	Staphylinidae	staD	Caenidae	caeEFE	Noctuidae	nocLEP
Ampullariidae	ampG	Athericidae	arhDIP	Leptohyphidae	lepEFE	Aeshnidae	aesODO
Physidae	phyG	Ceratopogonidae	cerDIP	Leptophlebiidae	lepEFE	Calopterygidae	calODO
Planorbidae	plaG	Chironomidae	chiDIP	Belostomatidae	belHEM	Coenagrionidae	coeODO
Lymnaeidae	lymG	Culicidae	culDIP	Corixidae	corHEM	Libellulidae	libODO
Hydrobiidae	hydG	Dixidae	dixDIP	Macroveliidae	macHEM	Hydroptilidae	hydTRI
Hyalellidae	hyaML	Musidae	musDIP	Mesoveliidae	mesHEM	Leptoceridae	lepTRI
Cambaridae	camML	Tipulidae	tipDIP	Nepidae	nepHEM	Polycentropodidae	polyTRI
Scirtidae	sciC	Tabanidae	tabDIP	Veliidae	velHEM	Xiphocentronidae	xipTRI
Dysticidae	dysC	Stratiomyidae	strDIP	Gerridae	gerHEM	Calamoceratidae	calaTRI
Hydrophilidae	hydropC	Simuliidae	simDIP	Naucoridae	nauHEM	Glossosomatidae	glossTRI

Grupos Tróficos

El grupo trófico dominante en casi todos los lagos de Montebello fue el recolector (Cuadro 3), en lagos transparentes este grupo está formado por las familias: Chironomidae, Baetidae, Caenidae, Leptophlebiidae, Leptoceridae, Hylellidae, Ceratopogonidae, Cambaridae, Dixidae, Dugesiididae, Calamoceratidae, Elmidae y Xiphicentronidae. Y en los lagos turbios, está formado por las familias: Cambaridae, Chironomidae, Dixidae, Baetidae y Ceratopogonidae. El grupo de los recolectores estuvo presente en todos los lagos (Fig. 10) siendo dominante, pero en Cinco Lagos el grupo trófico dominante fue el de los fragmentadores, debido principalmente a que una de las familias más abundantes en este lago fue Scirtidae, además de que el recurso alimenticio (materia orgánica de partículas gruesa) que explotan está disponible.

Cuadro 3. Proporción en la que se distribuyen los diferentes grupos tróficos dentro de los lagos.

<b>Grupo Trófico</b>	<b>General</b>	<b>Transparentes</b>	<b>Turbios</b>
<b>Recolector</b>	75.34	59.98	83.14
<b>Raspador</b>	5.03	8.99	3.02
<b>Filtrador</b>	1.17	3.37	0.06
<b>Fragmentador</b>	4.34	9.11	1.92
<b>Detritívoro</b>	3.14	0.74	4.35
<b>Depredador</b>	10.98	17.82	7.52

La diversidad y riqueza funcional parece variar ligeramente entre lagos turbios y transparentes (Fig. 10). Esto se comprobó con la tabla de contingencia (de lagos contra los grupos tróficos), la cual indica que estas variables son independientes  $\chi^2(60, N=13) = 875.95, p < 0.000$ , lo que significa que la presencia de los grupos tróficos no es la misma para todos lagos a pesar de que sean turbios o transparentes (Cuadro 4).

A pesar del dominio de los recolectores la diferencia entre lagos radica en que los lagos de montaña presentan en un mayor porcentaje fragmentadores y filtradores respecto a los lagos de planicie (Cuadro 3). Por su parte en los lagos de planicie el porcentaje de detritívoros es mayor respecto a los lagos de montaña (Cuadro 4) y este grupo trófico se encuentran en casi todos los lagos turbios (Fig. 10).

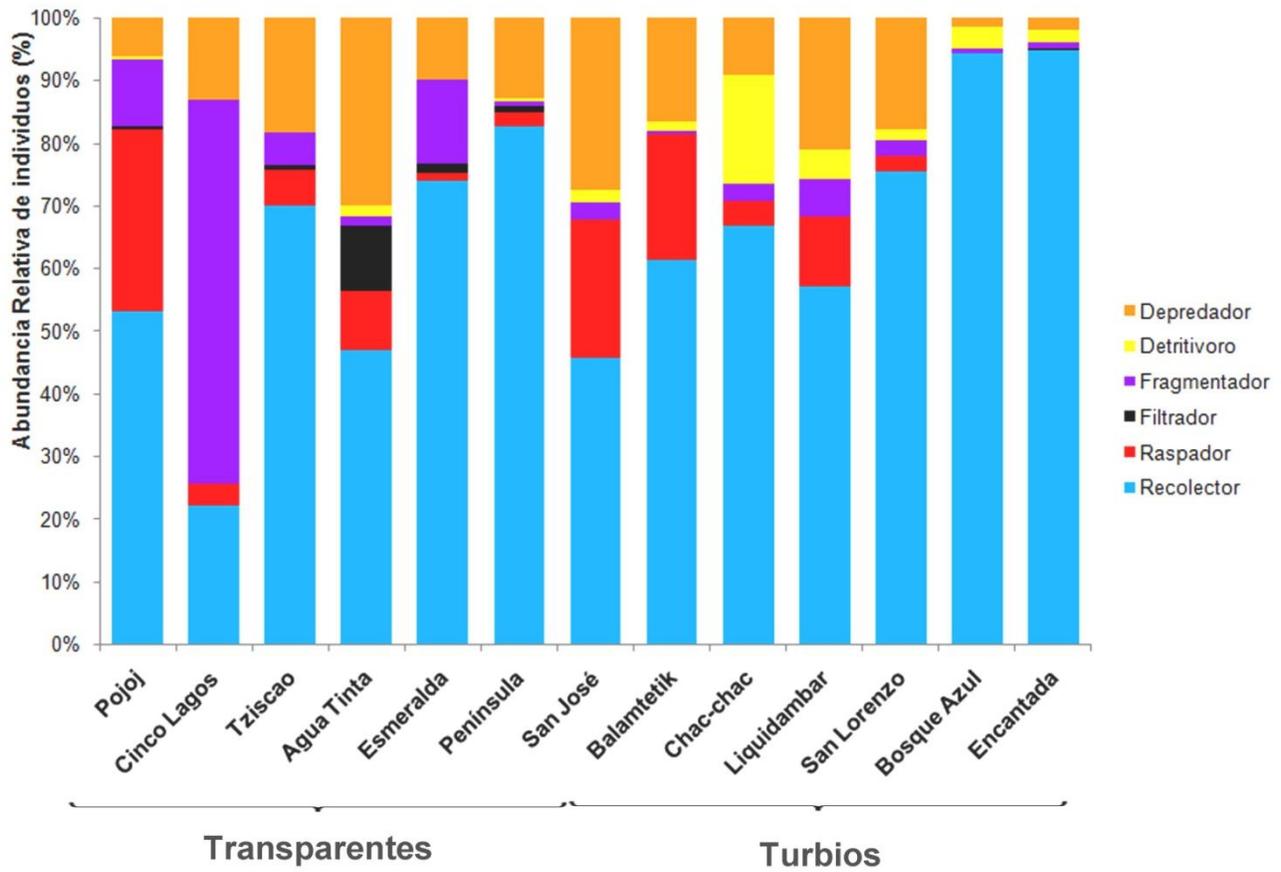


Figura 10. Grupos tróficos de macroinvertebrados presentes en los lagos de Montebello.

## Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos y comparándolos con estudios realizados en el PNLM (Alvarado, 2015; Ávila García, 2015; Hernández, 2015; Sosa, 2015 y Villalpando, 2015), los cuerpos de agua del parque sufren una alteración debida principalmente a contaminación orgánica. La contaminación orgánica se ha reportado en diversos estudios como uno de los factores que altera las condiciones bióticas y abióticas de los cuerpos de agua causando variaciones en su funcionamiento (Carpenter *et al.*, 1998; Medianero y Samaniego, 2004; Alonso y Camargo, 2005).

Alvarado (2015) reporta que las actividades que se realizan dentro de la cuenca hidrográfica pueden ser fuentes potenciales de alteración de los cuerpos de agua continentales, donde la principal actividad dentro del área de los lagos es la agricultura: en los lagos de planicie es agricultura de temporal y en lagos de montaña agricultura de riego. Por su parte Hernández (2015) reporta que un análisis de bacterias indicadoras fecales en los lagos del PNLM el cual reflejó que existen menores concentraciones de coliformes fecales y enterococos fecales en los lagos de montaña y que en general en la zona media-baja de la cuenca.

El análisis de correspondencias canónicas (CCA), permite considerar a la conductividad eléctrica y a la distancia del disco de Secchi como las variables ambientales más importantes para diferenciar a los lagos comparándolos entre ellos mismos. En los lagos de Montebello la conductividad eléctrica promedio superficial no sobre pasa los 656  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , encontrándose en un rango bajo de conductividad eléctrica según Olías *et al.*, (2005), lo cual no afecta la vida acuática; pero permite hacer diferenciación entre lagos.

Se sabe que la conductividad eléctrica se ve influenciada por la entrada de materia orgánica al sistema, lo cual aumenta su estado conductor, es este sentido el agua en estado puro no lo presenta, debido al bajo grado de disolución iónica (Pérez-Ortiz, 2005). Al aumentar la conductividad eléctrica disminuye la disponibilidad de oxígeno, resultado de la descomposición de la materia orgánica en el agua y en los sedimentos (Wetzel, 2001); lo que promueve en parte la turbidez del agua (Angelier, 2002; Alonso y Camargo, 2005; Hoback y Stanley, 2001; Mazzeo *et al.*, 2002; Moreno Franco *et al.*, 2010). En el PNLM estas dos

variables son importantes para distinguir entre lagos debido a que diferencian a los lagos de planicie de los de montaña, lo cual se relaciona con la turbidez del agua, ya que los lagos de planicie son los turbios y los de montaña son los transparentes.

Las otras dos variables importantes en el CCA para los lagos de Montebello son el oxígeno disuelto (OD) y la temperatura, en los lagos de Montebello, el oxígeno disuelto superficial en la mayoría de los lagos sobrepasa 5 mg/L necesarios para la vida acuática según Ramos-Herrera *et al.* (2012), excepto los lagos Bosque Azul y Balamtetik. En general el oxígeno disuelto y la temperatura guardan una fuerte relación, ya que al disminuir esta última aumenta la solubilidad de oxígeno (Lampert y Sommer, 1997; Wetzel, 2001). En los lagos de Montebello el patrón antes mencionado parece no cumplirse en esas variables ambientales superficiales.

Se debe tener presente que el oxígeno disuelto es uno de los factores que mejor explica tanto la diversidad como la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Spieles y Mitsch, 2000; Wetzel, 2001), debido a que las concentraciones de oxígeno disuelto afectan el comportamiento, metabolismo y sobrevivencia de las larvas de insectos (Corbet, 1999). El oxígeno disuelto varía entre hábitats y dentro de los mismos de acuerdo con la profundidad, cercanía a las orillas y horas del día (Corbet, 1999); además de ser afectado por el movimiento del agua (Gómez, 2008). La mayoría de los macroinvertebrados acuáticos son sensibles a la reducción de oxígeno disuelto (OD), de tal forma que se reduce su abundancia o incluso desaparecen, por ejemplo las familias de tricópteros. Pero hay otros grupos que toleran bien las bajas concentraciones de OD, aumentando su abundancia, por ejemplo los quironómidos; lo que es un indicativo de alteración del sistema (Hoback y Stanley, 2001; Angelier, 2002; Mazzeo *et al.*, 2002).

En los lagos estudiados se corrobora lo anterior debido a que las fluctuaciones en las variables fisicoquímicas estarían enmarcando la tolerancia de la especie en el PNLM dentro del análisis de CCA (Cuadro 3 y Fig. 9), en el lado derecho del gráfico se posicionan los lagos de planicie turbios, algunas de las familias más tolerantes a contaminación orgánica comenzando por Chironomidae, Ceratopogonidae, Tabanidae, Coenagrionidae y

Cambaridae. De estas cinco familias sólo Chironomidae presenta un aumento en su abundancia, está reportada en la literatura como una familia con un amplio umbral ecológico, mientras que Coenagrionidae se ha reportado como una familia asociada a ambientes lenticos, de aguas limpias dentro de sitios poco impactados por los humanos (Merritt y Cummings, 2008; González *et al.*, 2014). Del lado izquierdo del gráfico se ubican los lagos de montaña y familias pertenecientes a los órdenes de Trichoptera y Ephemeroptera, los cuales en la literatura son reportados como taxa poco o nada tolerantes a contaminación orgánica. Dentro de la familia Hydroptilidae (Trichoptera) se han encontrado especies en aguas con condiciones físico-químicas bastante extrema, como altas temperaturas y pH ácido (Springer *et al.*, 2010). Por el lado de los efemerópteros se sabe que especies dentro de las familias Baetidae, Caenidae y Leptohiphidae presentan amplios intervalos de tolerancia a la temperatura y hasta cierto punto a la contaminación (Springer *et al.*, 2010). La familia Leptophlebiidae se ha reportado en aguas lóxicas limpias (Serrano *et al.*, 2010).

Del orden tricópteros sólo se encontraron seis familias exclusivas de lagos conservados. La familia Leptoceridae, se encontró en todos los lagos, mientras que la familia Calamoceratidae sólo se encontró en Península y Agua Tinta en donde fue abundante. Respecto a los efemerópteros se encontraron cuatro familias de las cuales tres sólo se registraron en lagos transparentes, Caenidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae. La familia más abundante fue Baetidae, pero esta se encontró en todos los lagos tanto turbios como transparentes en abundancias variables, se ha reportado que esta familia en sistemas lóxicos no contaminados (Springer *et al.*, 2010).

Dentro de los Coleópteros las familias Gyrinidae se le ha relacionado con cuerpos de agua limpios, mientras que Dytiscidae tolera aguas contaminadas (Arce Pérez *et al.*, 2002). Por el lado de los Heterópteros tenemos a la familia Corixidae la cual frecuentemente se encuentran en valores de pH mayores a 7 y las temperaturas bajas, lo que favorece su abundancia (Pérez-Hernández *et al.*, 2007) y Notonectidae se ha encontrado en ambientes contaminados por humanos (Pacheco Chaies, 2010).

Los órdenes Odonata, Coleoptera y Heteroptera pueden ser considerados como grupos halo-termófilos, debido a que algunos taxones de estos han sido citados como halotolerantes, halófilos, y generalmente termófilos (Vivas *et al.*, 2002). No existe evidencia de que el gradiente halo-termófilo condicione la riqueza total de familias (Vivas *et al.*, 2002). En los lagos de Montebello el orden halo-termófilo fue el de los heterópteros, donde la mayoría de las familias se encuentran influenciadas por la conductividad y la temperatura (Figura 9).

Las altas densidades de Coenagrionidae (Odonata), Hyallellidae (Anfipoda) y Chironomidae (Diptera), indican que el agua presenta cierto grado de contaminación orgánica (Olomukoro y Dirisu, 2014). Chironomidae (Diptera) y Physidae (Mollusca) son las familias que parecen presentar mayor tolerancia a la contaminación. Estudios anteriores han subrayado a éstas familias como tolerantes al enriquecimiento orgánico de las aguas (Barbour *et al.*, 1999 ; Vivas *et al.*, 2002; Tomanova *et al.*, 2006; Rivera *et al.*, 2013; Olomukoro y Dirisu, 2014). La descripción anterior parece estar indicando que casi todos los lagos estudiados están presentando cierto grado de alteración, la excepción a la regla es Cinco Lagos, en el cual no se registraron anfípodos (Hyalellidae) y la abundancia de quironómidos y coenagrionidos fue baja.

Según nuestros resultados la elevada abundancia de los dos taxa dominantes, quironómidos y hialélidos, se debe a cambios acentuados en algunas de las variables ambientales principalmente la conductividad eléctrica y los fosfatos, donde las concentraciones de este último junto con otros nutrientes modifican la comunidad de productores primarios, lo que cambia la dinámica fisicoquímica de los lagos (Carpenter *et al.*, 1998; Vitousek *et al.*, 1997; Hoback y Stanley, 2000; Angelier, 2002; Mazzeo *et al.*, 2002; Alonso y Camargo, 2005; Moreno Franco *et al.*, 2010). Sosa (2015) reporta en el PNLM que la estructura de la comunidad de macroinvertebrados varía con el grado de perturbación (medido con el índice de Carlson a través de la distancia del disco de Secchi).

Aunado a lo anterior la alteración de los sistemas acuáticos provoca una drástica disminución en la diversidad y por tanto una simplicidad en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos (Medianero y Samaniego, 2004). Por lo que el aparente gradiente de alteración en

los lagos del PNLM parece estar modificando la estructura de la comunidad, lo cual repercute en los grupos tróficos del sistema, siendo los recolectores el grupo dominante en los lagos.

Los recolectores son favorecidos por una alimentación generalista, son más tolerantes a la alteración y dominan en zonas con gran cantidad de materia orgánica, mientras que los organismos especializados como los raspadores y trituradores son más sensibles a las variaciones del medio que habitan (Barbour *et al.*, 1999). La alimentación generalista, probablemente sea la dieta más flexible y puede contribuir a un incremento en la capacidad de sobrevivencia y facilitar la colonización espacial (Tomanova *et al.*, 2006). Sin embargo un aumento considerable de los recolectores indica un deterioro de la calidad del agua (Rivera *et al.*, 2013).

La existencia de varios grupos tróficos refleja una diversificación en el ingreso de energía a la comunidad de macroinvertebrados lo que permite múltiples interacciones entre los taxa (Rivera *et al.*, 2013). En los lagos de Montebello la diversificación de grupos tróficos no se encuentra relacionada con los lagos, ambas variables son independientes, las diferencias entre los lagos se encuentran en relación a la proporción de los grupos tróficos, lo que hace evidente el dominio de un grupo trófico, los recolectores. Lo cual se explica de dos formas, en lagos turbios los quironómidos son dominantes como familia y como grupo trófico, debido a que se adaptan mejor a sitios que presentan cierto grado de alteración, y en consecuencia estos sitios presentan una reducida variedad de recursos alimenticios; lo que trae consigo que los demás grupos tróficos se presentan en una proporción baja.

En los lagos transparentes las familias Baetidae, Chironimidae y Hyallellidae conforman el grupo trófico dominante de los recolectores, siendo esta última la más abundantes en la mayoría de estos lagos, lo que se puede deber a que son mejores competidoras que el resto de los taxa, además de la dinámica interna del lago, que hace que la columna de agua este bien oxigenada y que los organismo lleguen a los sedimentos adheridos a las raíces de las plantas emergentes de la orilla, donde hay mayores recursos alimenticios (Mazzeo *et al.*, 2002; Tomanova *et al.*, 2006).

Finalmente es difícil encontrar tendencias claras entre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos encontrados en algunos lagos del PNLM. Sin embargo utilizando los grupos tróficos podemos ver que si existen diferencias entre lagos, lo cual refleja un deterioro del sistema (Hoback y Stanley, 2001; Angelier, 2002; Mazzeo *et al.*, 2002; Alonso y Camargo, 2005).

## Conclusiones

- Las variables fisicoquímicas más importantes fueron Conductividad eléctrica y distancia del disco de Secchi, en los lagos de planicie (turbios) se presenta una alta conductividad y valores bajos de la distancia del disco de Secchi, mientras que en los lagos de montaña (transparentes) se presenta baja conductividad valores altos de la distancia del disco de Secchi.
- La la riqueza y diversidad de macroinvertebrados acuáticos aumenta de lagos de planicie a lagos de montaña, y la abundancia disminuye.
- Las familias que dominaron fueron la familia Chironomidae para lagos de planicie (turbios) y las familias Dugesiidae, Scirtidae y Hyalellidae en lagos de montaña (transparentes).
- El grupo trófico dominante tanto en lagos turbios como transparentes fue el de los recolectores.

## Referencias

- Alcocer, J. y F. W. Bernal-Brooks. 2010. Limnology in Mexico. *Hydrobiologia* 644: 15–68.
- Alcocer, J., E. Escobary L. A. Oseguera. 2008. Acoplamiento pelágico-bentónico : respuesta de la zona bentónica profunda a la sedimentación del florecimiento invernal de diatomeas en el lago oligotrófico Alchichica , Puebla , México. *Hidrobiológica* 18 :115–122.
- Alonso, A. y J.A. Camargo. 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* 14:87–99.
- Angelier, E. 2002. *Ecología de aguas corrientes*. Acribia. Zaragoza. España. 217 p.
- Alvarado, J. 2015. Evaluación espacial de la contaminación potencial puntual y difusa de la cuenca del río Grande de Comitán, Chiapas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 90 p.
- Arce-Pérez, R., R. Novelo-Gutiérrez y J.A. Gómez-Anaya. 2002. Coleópteros acuáticos de la zona de influencia de la Central Hidroeléctrica, “Ing. Fernando Hiriart Balderrama” (P.H. Zapopán) Hidalgo, México. (Coleoptera: Adepaga: Dytiscidae, Haliplidae, Gyrinidae). *Folia Entomológica Mexicana*. 41: 229-248.
- Ávila García, D. 2015. Capacidades locales para la conservación de los Lagos de Montebello, Chiapas. Tesis de maestría. Instituto de Biología, Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. México. 98 p.
- Barbour, M.T.; J. Gerristen, B. D. Snyder y J. B. Stribling. 1999. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish*, 2da. Edition. EPA 841-B-99\_002, U. S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- Bécares, E.; A. Conty, C. Rodríguez-Villafañe y S. Blanco. 2004. Funcionamiento de los lagos someros mediterráneos. *Ecosistemas* 13: 2-12.
- Boehrer, B. y M. Schultze. 2008. Stratification of lakes. *Reviews of Geophysics* 46: 1-27.
- Burch, J. y A. Cruz Reyes. 1987. Clave genérica para la identificación de gasteropodos de agua dulce en México. Instituto de Biología, UNAM, México. 46 p.
- Carpenter, S. R., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley y V. H. Smith. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological* 8: 559–568.

- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 2001. Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales. Programa Regional CEPIS/HPE/OPS, 1981-1990. 63 p.
- CFE. 2012. Estudio para conocer la calidad del agua de las Lagunas de Montebello, Chiapas: Tomo I Hidrometeorología. México: 264 p.
- CFE. 2012. Estudio para conocer la calidad del agua de las Lagunas de Montebello, Chiapas: Tomo II Geohidrología. México: 196 p.
- CharáSerna, A. M., J. D. Chará, C. Zúñiga, G. X. Pedraza y L. P. Giraldo. 2010. Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. *Universitas Scientiarum* 15: 27–36.
- CONABIO. 2000. Región Terrestre Prioritaria 137 El Momón-Montebello. *In* Regiones terrestres prioritarias de México, L. Arriaga, J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. 534-536 p.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2007. Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional Lagunas de Montebello. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), México. 194 p.
- CONANP. 2009. Parque Nacional Lagunas de Montebello. Programa de monitoreo: Estudio para el monitoreo de la calidad de agua de las lagunas en el Parque Nacional Lagunas de Montebello. México. 59 p.
- CONANP. 2011. Parque Nacional Lagunas de Montebello. Programa de monitoreo de la calidad de agua: Estudio para monitorear los parámetros de calidad de agua de las lagunas comunicadas con el sistema Lagunar Tepancoapan. México. 77 p.
- Corbet, D. S. 1999. Dragonflies: behavior and ecology of Odonata. Cornell University Press. Ithaca, New York. 190 p.
- Cummins, K. W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology*. 18: 183-206.
- Cummins, K.W. y R.W. Merritt. 1996. Ecology and Distribution of Aquatic Insects. *In* An introduction to the aquatic insects of North America, W. Merritt y K. W. Cummins (eds.). Iowa: Kendall-Hunt. Dubuque, 74–86 p.

- Diario Oficial de la Federación. 2009. Programa de Manejo del Parque Nacional Lagunas de Montebello, ubicado en los municipios de La Trinitaria e Independencia, en el Estado de Chiapas. Diario Oficial de la Federación. 18 de diciembre de 2009, México.
- Durán Calderón, I., O. Escolero Fuentes, E. Muñoz Salinas, M. Castillo Rodríguez y G. Silva Romo. 2014. Cartografía geomorfológica a escala 1: 50,000 del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (México). Boletín de La Sociedad. 66: 263-277.
- Fontúrbel Rada, F. 2005. Indicadores Físicoquímicos Y Biológicos Del Proceso De Eutrofización Del Lago Titikaka (Bolivia). Ecología Aplicada 4: 135–141.
- Fuller, L.M.; R.S. Jodoin y R. J. Minnerick. 2011. Predicting lake trophic state by relating Secchi-disk transparency measurements to Landsat-satellite imagery for Michigan inland lakes, 2003–05 and 2007–08: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011–5007, 36 p.
- González, M. y L. C. Fajardo. 2013. Asociación de grupos funcionales de macroinvertebrados acuáticos a *Juncus effusus* - *Typha latifolia* y *Eichornia crassipes* – *Limnobium laevigatum*, en el tercio alto del humedal Juan Amarillo, Bogotá - Colombia. El Astrolabio. Investigación y Ciencia Del Gimnasio Campestre, 9–22 p.
- Gómez Anaya, J. A. 2008. Ecología de los Ensamblajes de larvas de Odonatos (Insecta) y su uso potencial como indicadores de la calidad ecológica en la Sierra de Coalcomán, Michoacán, México. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. 332 p.
- Gotelli, N. J. y G. L. Entsminger. 2001. Swap and fill algorithms in null model analysis: rethinking the Knight's tour. *Oecologia* 129: 281–291.
- Gotelli, N.J. y R.K. Colwell. 2011. Estimating species richness. *In* Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment. Magurran, A. E. McGill y B. J. McGill (eds.). Oxford University Press. 39-54 p.
- Hairton Jr., N.G. y N.G. Hairton Sr. 1993. Cause-effect relationships in energy flow, trophic structure, and interspecific interactions. *The American Naturalist*, 142: 379–411.
- Hernández, E. 2015. Microorganismos en agua como indicadores del proceso de degradación de la cuenca del Río Grande de Comitán – Lagos de Montebello, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 85 p.
- Hernández Morales, R., M. R. Ortega, D. J. Sánchez, R. Alvarado y M. S. Aguilera. 2011. Distribución estacional del fitoplancton en un lago cálido monomítico en Michoacán, México. *Biológicas* 13: 21–28.
- Hoback, W. W. y D. W. Stanley. 2000. Insects in hypoxia. *Journal of Insect Physiology* 47: 533–542.

- Ibelings, B. W., R. Portielje, E. Lammens, R. Noordhuis, M. S. Van Den Berg, W. Joosse, y M. L. Meijer. 2007. Resilience of alternative stable states during the recovery of shallow lakes from eutrophication: Lake Veluwe as a case study. *Ecosystems* 10: 4–16.
- Kefford, B. J. 1998. The relationship between electrical conductivity and selected macroinvertebrate communities in four river systems of south-west Victoria, Australia. *International Journal of Salt Lake Research* 7: 153–170.
- Lampert, W. y U. Sommer. 2007. *Limnoecology*. Oxford University Press, New York. 313 p.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell, Oxford. 215 p.
- Mandaville, S.M. 2002. Benthic Macroinvertebrates in Taxa Tolerance Values, Metrics and Protocols. Project H-1. Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, Nova Scotia. 128 p.
- Mazzeo, N., J. Clemente, F. García Rodríguez, J. Gorga, C. Kruk, D. Larrea, y F. Scasso. 2002. Eutrofización: causas, consecuencias y manejo. *In Perfil Ambiental del Uruguay*, A. Dominguez y R. G. Prieto (eds.). Nordan Comunidad, Montevideo. 39-56 p.
- McCafferty, W.P., C. R.; Lugo Ortiz, A. V. Provonsha y T.Q. Wang. 1997. Los efemerópteros de México: 1. Clasificación superior, diagnosis de familias y composición. *Dugesiana* 4: 1–29.
- Medianero, E. y M. Samaniego. 2004. Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el Río Curundú, Panamá. *Folia Entomologica Mexicana* 43: 279–294.
- Meerhoff, M., 2002. Efecto de la presencia de hidrófitas en la estructura de las comunidades de zooplancton y peces en un lago hipereutrófico somero. Tesis de Maestría. Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas. Facultad de Ciencias - UDELAR, Universidad de la República, Uruguay. 123 p.
- Merritt, R. W.; K. W. Cummins y M. B. Berg. 2008. *An Introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall, Hunt Publishing Company. 1158 p.
- Merlo Galeazzi, A. 2014. Efectos de la heterogeneidad ambiental sobre la diversidad taxonómica y funcional de los macroinvertebrados acuáticos de Xochimilco. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 87 p.
- Moreno, C. E. 2001. *Manual de métodos para medir la biodiversidad*. Manuales y Tesis Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza. 84 p.
- Moreno Franco, D.P., J. Quintero Manzano y A. López Cuevas. 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contacto S78*: 25-33.

- Munguia, R., R. Francisco y P. López. 2004. Estructura trófica de las asociaciones de macroinvertebrados acuáticos de manantiales cársticos en la Huasteca Mexicana. *Biológicas* 6: 37-47.
- Novelo Gutiérrez, R. 1997. Clave para la separación de familias y generos de las nayades de Odonata de México. Parte 1. Zygoptera. *Dugesiana* 4: 1-10.
- Novelo Gutiérrez, R. 1997. Clave para la determinación de familias y géneros de las náyades de Odonata de México. Parte 2. Anisoptera. *Dugesiana* 4: 31-40.
- Olías, M., J. C. Cerón y I. Fernández. 2005. Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del US Laboratory Salinity (USLS). *Geogaceta* 37: 111-113.
- Olomukoro, J.O. y A. R. Dirisu. 2014. Macroinvertebrate Community and Pollution Tolerance Index in Edion and Omodo Rivers in Derived Savannah Wetlands in Southern Nigeria. *Jordan Journal of Biological Sciences* 7: 19-24.
- Pacheco-Chaires, B. 2010. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Hemiptera en el Salvador. En: Springer, M.; Sermeño Chicas, J. M. y Vázquez Acosta, D. (Eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de aguas de los ríos de el Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de el Salvador (UES) – Organización de Estados Americanos (OEA); Editorial Univarsitaria UES, San Salvador, El Salvador. 49 p.
- Parra, O. V., C. Valdovinos, R. Urrutia, M. Cisternas, E. Habit y M. Mardones. 2003. Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile Central. *Revista Limnetica* 22: 51-83.
- Pérez Ortiz, G., 2005. Diagnostico ambiental como base para la rehabilitación de las Ciénegas del Lerma, Estado de México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 92 p.
- Piscart, C., J. C. Moreteau y J. N. Beisel. 2005. Biodiversity and structure of macroinvertebrate communities along a small permanent salinity gradient (Meurthe River, France). *Hydrobiologia* 551: 227-237.
- Ramírez, A. 2010. Métodos de recolección. *Revista de Biología Tropical* 58: 41-50.
- Ramos Herrera, S., L. F. Martínez Broca, J. R. Laines Canepa y J. M. Carrera Velueta. 2012. Tendencia de la calidad del agua en ríos de Tabasco, México. *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán*. 16: 207-217.

- Rivera Usme, J. J., G. Pinilla Agudelo y D. L. Camacho Pinzón. 2013. Grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos en un humedal urbano andino de Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 18: 279-292.
- Rosenberg, D. M. V. H. y Resh. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* 12: 220-222.
- Sermeño Chicas, J. M., D. Pépez, S. M. Muñoz A., L. Serrano, C., A. W. Rivas F. y A. J. Monterrosa U. 2010. Metodología estandarizada de muestreo multihabitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la red "D" en ríos de El Salvador. El Salvador: Editorial Universitaria UES. 23 p.
- Serrano Cervantes, L. y A. Aguilar Zepeda. 2010. Guía Ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Ephemeroptera en el Salvador. En: Springer, M.; Sermeño Chicas, J. M. y Vázquez Acosta, D. (Eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) – Organización de Estados Americanos (OEA); Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 29 p.
- Sosa Aranda, I. 2015. Comparación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del Parque Nacional Lagunas de Montebello. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 64 p.
- Speiles, D.J. y W.J. Mitsch. 2000. Macroinvertebrate Community Structure in High- and Low-Nutrient Constructed Wetlands. *Wetlands* 20: 716-729.
- Springer, M., A. Ramírez y P. Hanson. 2010. Macroinvertebrados de Agua Dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical* 58 (Supl 4).
- Thorne, R. y P. Williams. 1997. The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. *Freshwater Biology* 37: 671-686.
- Tomanova, S., Goitia, E., y Helešic, J. 2006. Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hydrobiologia* 556: 251-264
- Vázquez Sánchez, M.A. y Méndez Gómez, Y.E. 1994. Aspectos generales de la región Lagos de Montebello. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste. México. 117 p.
- Vázquez Silva, G., T. Castro Barrera, J. Castro Mejía y G. D. Mendoza-Martínez. 2011. Los caracoles del género *Pomacea* (Perry, 1810) y su importancia ecológica y socioeconómica. *Contacto* 81: 28-33.

- Villalpando Alanix, B. 2015. Uso de percepción remota para la estimación del índice trófico de las launas del Parque Nacional Lagunas de Montebello. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México. 73 p.
- Vitousek, P. M., J. D. Aber, R. W. Howarth, G. E. Likens, P. A. Matson, D. W. Schindler y D. G. Tilman. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications* 7: 737-750.
- Vivas, S., J. Casas, I., Pardo, S. Robles, N. Bonada, A. Mellado y G. Moyá. 2002. Aproximación multivariante en la exploración de la tolerancia ambiental de las familias de macroinvertebrados de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. *Limnetica* 21: 149-173.
- Wetzel, R.G. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems* 3 Edit. Academic Press, San Francisco. 700 p.
- Willott, S. J. 2001. Species accumulation curves and the measure of sampling effort. *Journal of Applied Ecology* 38: 484-486.

# ANEXOS

Anexo I. Cuadro de grupos tróficos por familia de macroinvertebrados acuáticos según la bibliografía.

Familia	Recolector	Raspador	Filtrador	Triturador	Detritívoro	Depredador	Grupo Trófico	Referencia
Dugesidae						x	Depredador	Oscoz, 2009
Glossiphoniidae					x+x	x	Detritívoro	Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013; Merlo Galeazzi, 2014
Verenidae			x				Filtrador	Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013
Ampullariidae		X					Raspador	Vázquez-Silva <i>et al.</i> ,2011
Physidae		X					Raspador	Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013; Merlo Galeazzi, 2014
Planorbidae		x+x	x				Raspador	Oscoz, 2009
Lymnaeidae		X					Raspador	Merlo Galeazzi, 2014
Hydrobiidae		x+x	x				Raspador	Oscoz, 2009
Hyalellidae	x+x+x	x+x					Recolector	Gozález <i>et al.</i> ,2013; Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013
Cambaridae	x						Recolector	Merlo Galeazzi, 2014
Scirtidae	x	X			x+x	x	Triturador	Merrit y Cummins, 2008; Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013
Dysticidae						x+x	Depredador	Merrit y Cummins, 2008; Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010
Hydrophilidae						x	Depredador	Merrit y Cummins, 2008
Elmidae	x+x+x	x+x	x			x	Recolector	Munguia <i>et al.</i> , 2004; Tomanova <i>et al.</i> ,2006; Merrit y Cummins, 2008; Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010; Gozález <i>et al.</i> ,2013 y Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013
Gyrinidae						x	Depredador	Merrit y Cummins, 2008
Staphylinidae	x					x	Depredador	Tomanova <i>et al.</i> ,2006; Merrit y Cummins, 2008
Ceratopogonidae	x+x	X				x	Recolector	Tomanova <i>et al.</i> ,2006; Merrit y Cummins, 2008; Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010 y Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013 Munguia <i>et al.</i> , 2004; Tomanova <i>et al.</i> ,2006; Merrit y Cummins, 2008; Gozález <i>et al.</i> ,2013 y Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013
Chironomidae	x+x		X		x	x	Recolector	
Culicidae	x+x	X					Recolector	Munguia <i>et al.</i> , 2004; Merrit y Cummins, 2008; Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013
Dixidae	x+x	X					Recolector	Tomanova <i>et al.</i> ,2006; Merrit y Cummins, 2008; Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010 y Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013
Musidae						x	Depredador	Merrit y Cummins, 2008
Tipulidae		X			x+x+x	x	Triturador	C ummins, 1973; Munguia <i>et al.</i> , 2004; Tomanova <i>et al.</i> ,2006; Gozález <i>et al.</i> ,2013; Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013 y Merlo Galeazzi, 2014
Tabanidae						x	Depredador	Munguia <i>et al.</i> , 2004; Merrit y Cummins, 2008
Stratiomyidae	x					x+x	Detritívoro	Munguia <i>et al.</i> , 2004; Tomanova <i>et al.</i> ,2006; Merrit y Cummins, 2008 y Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010 y Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013
Simuliidae		X	x+x				Filtrador	
Ephydriidae	x	X			x+x	x	Triturador	Munguia <i>et al.</i> , 2004; Merrit y Cummins, 2008 y Rivera Usme <i>et al.</i> ,2013
Baetidae	x+x	x+x					Recolector	Munguia <i>et al.</i> , 2004; Tomanova <i>et al.</i> ,2006; Merrit y Cummins, 2008 y Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010

## Continuación de Anexo I.

Caenidae	x+x	X				<b>Recolector</b>	Munguia <i>et al.</i> , 2004; Merrit y Cummins, 2008
Leptohyphidae	x			x+x		<b>Triturador</b>	Tomanova <i>et al.</i> ,2006; Merrit y Cummins, 2008 y Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010
Leptophlebiidae	x+x	X				<b>Recolector</b>	Munguia <i>et al.</i> , 2004; Merrit y Cummins, 2008 y Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010
Belostomatidae					x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008
Corixidae		X			x+x+x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008
Macroveliidae					x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008
Mesoveliidae					x+x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008
Nepidae					x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008
Veliidae					x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008 y Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010
Gerridae					x+x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008 y Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010
Naucoridae					x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008 y Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010
Notonectidae					x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008
Ochteridae					x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008
Noctuidae				x		<b>Triturador</b>	Merrit y Cummins, 2008
Aeshnidae					x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008
Calopterygidae					x+x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008 y Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010
Coenagrionidae					x+x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008 y Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010
Libellulidae					x+x	<b>Depredador</b>	Merrit y Cummins, 2008 y Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010
Hydroptilidae	x	x+x	x			<b>Raspador</b>	Munguia <i>et al.</i> , 2004; Tomanova <i>et al.</i> ,2006 y Merrit y Cummins, 2008
Leptoceridae	x+x	X	x	x		<b>Recolector</b>	Munguia <i>et al.</i> , 2004; Tomanova <i>et al.</i> ,2006 y Merrit y Cummins, 2008
Polycentropodidae				x+x		<b>Filtrador</b>	Merrit y Cummins, 2008
Xiphocentronidae	x					<b>Recolector</b>	Merrit y Cummins, 2008
Calamoceratidae			x	x+x	x	<b>Triturador</b>	Munguia <i>et al.</i> , 2004; Merrit y Cummins, 2008 y Chará.Serna <i>et al.</i> , 2010
Glossosomatidae	x+x	X				<b>Recolector</b>	Munguia <i>et al.</i> , 2004; Tomanova <i>et al.</i> ,2006 y Merrit y Cummins, 2008

El cada x se refiere al número de veces que se encontró a la familia reportada en la bibliografía con ese grupo trófico.

Anexo II. Número de individuos de macroinvertebrados registrados en los lagos turbios de Montebello.  $ni$ = número de individuos de la familia  $i$ ;  $pi$ =abundancia proporcional de la familia  $i$  ( $pi=ni/N$ ).  $N$ =total de individuos en cada lago.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Balamtetik		Chaj_chaj		Liquidambar		San Lorenzo		Bosque Azul		Encantada	
				$ni$	$pi$	$ni$	$pi$	$ni$	$pi$	$ni$	$pi$	$Ni$	$pi$	$ni$	$Pi$
Platyhelminthes	Tubellaria	Tricladida	Dugesidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Annelida	Clitellata	Rhychobdellida	Glossiphoniidae	3	0.0156	77	0.1645	28	0.0427	9	0.0176	55	0.0351	28	0.0203
Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Verenidae	1	0.0052	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	3	0.0022
Mollusca	Gastropoda	Achitaenioglossa	Ampullariidae	0	0.0000	7	0.0150	14	0.0213	2	0.0039	0	0.0000	0	0.0000
Mollusca	Gastropoda	Hygrophila	Physidae	32	0.1667	2	0.0043	27	0.0412	2	0.0039	0	0.0000	0	0.0000
Mollusca	Gastropoda	Hygrophila	Planorbidae	0	0.0000	0	0.0000	22	0.0335	2	0.0039	0	0.0000	0	0.0000
Mollusca	Gastropoda	Hygrophila	Lymnaeidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Mollusca	Gastropoda	Littorinimorpha	Hydrobiidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	0	0.0000	9	0.0192	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Cambaridae	1	0.0052	2	0.0043	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0006	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Scirtidae	1	0.0052	13	0.0278	33	0.0503	10	0.0196	12	0.0077	14	0.0102
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dysticidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0007
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae	6	0.0313	1	0.0021	1	0.0015	3	0.0059	3	0.0019	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Gyrinidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	1	0.0052	1	0.0021	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0006	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Athericidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0015	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	79	0.4115	299	0.6389	374	0.5701	389	0.7613	1474	0.9407	1306	0.9491
Arthropoda	Insecta	Diptera	Culicidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Dixidae	1	0.0052	8	0.0171	2	0.0030	0	0.0000	2	0.0013	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Musidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tipulidae	0	0.0000	0	0.0000	6	0.0091	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tabanidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	5	0.0098	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Stratiomyidae	0	0.0000	2	0.0043	3	0.0046	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Simuliidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Ephydriidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	41	0.2135	6	0.0128	5	0.0076	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000

Anexo II. Continuación															
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Balamtetik	Chaj_chaj		Liquidambar		San Lorenzo		Bosque Azul		Encantada	
					<i>ni</i>	<i>pi</i>	<i>ni</i>	<i>pi</i>	<i>ni</i>	<i>pi</i>	<i>ni</i>	<i>pi</i>	<i>Ni</i>	<i>Pi</i>	<i>ni</i>
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Caenidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptohyphidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Belostomatidae	3	0.0156	8	0.0171	52	0.0793	14	0.0274	0	0.0000	5	0.0036
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Corixidae	1	0.0052	1	0.0021	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Macroveliidae	0	0.0000	5	0.0107	1	0.0015	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Mesoveliidae	0	0.0000	4	0.0085	6	0.0091	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Nepidae	0	0.0000	0	0.0000	3	0.0046	2	0.0039	1	0.0006	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Veliidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Gerridae	0	0.0000	1	0.0021	1	0.0015	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Naucoridae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Notonectidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Ochteridae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Noctuidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Odonata	Aeshnidae	1	0.0052	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Odonata	Calopterygidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	21	0.1094	22	0.0470	77	0.1174	67	0.1311	18	0.0115	19	0.0138
Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydroptiliidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Polycentropodidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Xiphocentronidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Calamoceratidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Glossosomatidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
<b>Número total de individuos (N)</b>				<b>192</b>	<b>468</b>	<b>656</b>	<b>511</b>	<b>1567</b>	<b>1376</b>						
<b>Número total de especies (S)</b>				<b>14</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>7</b>						

Anexo III. Número de individuos de macroinvertebrados registrados en los lagos transparentes de Montebello.  $ni$ = número de individuos de la familia  $i$ ;  $pi$ =abundancia proporcional de la familia  $i$  ( $pi=ni/N$ ).  $N$ =total de individuos en cada lago.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Pojoj	5 Lagos		Tziscaco		Agua Tinta		Esmeralda		Península		San José		
				$ni$	$pi$	$ni$	$pi$	$ni$	$pi$	$ni$	$pi$	$ni$	$pi$	$ni$	$pi$	$Ni$	$pi$
Platyhelminthes	Tubellaria	Tricladida	Dugesidae	17	0.0548	7	0.0417	6	0.0151	90	0.1347	3	0.0085	8	0.0190	1	0.0050
Annelida	Clitellata	Rhychobdellida	Glossiphoniidae	2	0.0065	0	0.0000	0	0.0000	5	0.0075	0	0.0000	1	0.0024	1	0.0050
Mollusca	Bivalvia	Veneroidea	Verenidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	2	0.0030	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Mollusca	Gastropoda	Achitanioglossa	Ampullariidae	48	0.1548	0	0.0000	7	0.0176	19	0.0284	0	0.0000	0	0.0000	3	0.0149
Mollusca	Gastropoda	Hygrophila	Physidae	9	0.0290	5	0.0298	11	0.0276	6	0.0090	0	0.0000	1	0.0024	15	0.0746
Mollusca	Gastropoda	Hygrophila	Planorbidae	33	0.1065	0	0.0000	3	0.0075	36	0.0539	0	0.0000	2	0.0047	0	0.0000
Mollusca	Gastropoda	Hygrophila	Lymnaeidae	0	0.0000	1	0.0060	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0028	0	0.0000	0	0.0000
Mollusca	Gastropoda	Littorinimorpha	Hydrobiidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0028	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	125	0.4032	0	0.0000	183	0.4598	303	0.4536	185	0.5271	318	0.7536	105	0.5224
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Cambaridae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	7	0.0199	1	0.0024	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Scirtidae	33	0.1065	103	0.6131	12	0.0302	10	0.0150	42	0.1197	4	0.0095	2	0.0100
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dysticidae	0	0.0000	0	0.0000	2	0.0050	3	0.0045	0	0.0000	3	0.0071	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae	0	0.0000	9	0.0536	1	0.0025	2	0.0030	3	0.0085	6	0.0142	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0025	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0050
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Gyrinidae	0	0.0000	0	0.0000	9	0.0226	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0024	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Athericidae	0	0.0000	1	0.0060	1	0.0025	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	1	0.0032	0	0.0000	0	0.0000	4	0.0060	1	0.0028	0	0.0000	1	0.0050
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	21	0.0677	21	0.1250	68	0.1709	5	0.0075	44	0.1254	20	0.0474	31	0.1542
Arthropoda	Insecta	Diptera	Culicidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	3	0.0085	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Dixidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	16	0.0240	9	0.0256	10	0.0237	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Musidae	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0025	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tipulidae	0	0.0000	0	0.0000	4	0.0101	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tabanidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Stratiomyidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	2	0.0030	0	0.0000	1	0.0024	1	0.0050
Arthropoda	Insecta	Diptera	Simuliidae	0	0.0000	0	0.0000	2	0.0050	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Diptera	Ephydriidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000

### Anexo III. Continuación

Filum	Clase	Orden	Familia	Pojoj		5 Lagos		Tziscoa		Agua Tinta		Esmeralda		Península		San José	
				<i>ni</i>	<i>pi</i>												
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	14	0.0452	8	0.0476	25	0.0628	1	0.0015	11	0.0313	2	0.0047	9	0.0448
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Caenidae	0	0.0000	2	0.0119	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0024	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptohyphidae	0	0.0000	0	0.0000	4	0.0101	0	0.0000	5	0.0142	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	0	0.0000	4	0.0238	1	0.0025	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Belostomatidae	0	0.0000	0	0.0000	3	0.0075	2	0.0030	6	0.0171	5	0.0118	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Corixidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0028	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Macroveliidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0015	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Mesoveliidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Nepidae	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0025	11	0.0165	0	0.0000	1	0.0024	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Veliidae	0	0.0000	0	0.0000	2	0.0050	0	0.0000	1	0.0028	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Gerridae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Naucoridae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	4	0.0060	0	0.0000	0	0.0000	2	0.0100
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Notoneclidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0028	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Ochteridae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0015	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Noctuidae	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0025	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Odonata	Aeshnidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Odonata	Calopterygidae	0	0.0000	0	0.0000	9	0.0226	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	2	0.0065	5	0.0298	38	0.0955	31	0.0464	21	0.0598	30	0.0711	25	0.1244
Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	61	0.0913	2	0.0057	1	0.0024	1	0.0050
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	2	0.0100
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	4	0.0129	2	0.0119	1	0.0025	2	0.0030	2	0.0057	2	0.0047	1	0.0050
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Polycentropodidae	1	0.0032	0	0.0000	1	0.0025	0	0.0000	2	0.0057	2	0.0047	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Xiphocentronidae	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0025	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Calamoceratidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	50	0.0749	0	0.0000	2	0.0047	0	0.0000
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Glossosomatidae	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0015	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
<b>Número total de individuos (N)</b>				<b>310</b>		<b>168</b>		<b>398</b>		<b>668</b>		<b>351</b>		<b>422</b>		<b>201</b>	
<b>Número total de especies (S)</b>				<b>13</b>		<b>12</b>		<b>27</b>		<b>25</b>		<b>21</b>		<b>22</b>		<b>16</b>	

### Anexo IV a. Variables bióticas entre lagos.

	Pojoj		Cinco Lagos		Tziscoo		Agua Tinta		Esmeralda		Península		San José		Sig.
	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	
<b>Diversidad</b>	2.2	0.8973	2.5	2.6961	2.0	1.1702	3.5	2.7923	3.1	1.0085	2.5	2.0938	2.5	1.5110	p <0.05*
<b>Riqueza</b>	4.7	1.2517	3.1	1.3003	5.6	3.0984	8.0	2.4037	6.4	3.0623	5.2	1.4814	4.6	2.1187	p <0.000*

\*Valor de p Prueba ANOVA

	Balamtetik		Chaj_Chaj		Liquidambar		San Lorenzo		Bosque Azul		La Encantada		Sig.
	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	
<b>Diversidad</b>	3.2	2.6229	2.7	2.8282	1.9	1.0341	1.5	0.9881	0.6	0.2764	0.6	0.2802	p <0.05*
<b>Riqueza</b>	4.1	2.2336	4.8	2.0944	5.7	3.2245	4.5	2.0255	3.1	1.1645	3.3	1.2817	p <0.000*

\*Valor de p Prueba ANOVA

### Anexo IV b. Variables bióticas entre lagos.

	Pojoj		Cinco Lagos		Tziscoo		Agua Tinta		Esmeralda		Península		San José		Sig.
	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	
<b>Abundancia</b>	22.5	7-136	13	4-58	38	5-72	47	8-161	18	5-132	41	3-126	19	4-53	p <0.000*

\*Valor de p Prueba Kruskal-Wallis

	Balamtetik		Chaj_Chaj		Liquidambar		San Lorenzo		Bosque Azul		La Encantada		Sig.
	MEDIA NA	Rangos Intercuartiles	MEDIA NA	Rangos Intercuartiles	MEDIA NA	Rangos Intercuartiles	MEDIA NA	Rangos Intercuartiles	MEDIA NA	Rangos Intercuartiles	MEDIA NA	Rangos Intercuartiles	
<b>Abundancia</b>	9.5	2-100	27	5-118	44	5-130	40	10-86	81.5	14-458	137	73-369	p <0.000*

\*Valor de p Prueba Kruskal-Wallis

### Anexo V a. Variables bióticas por categoría de lago.

	Lagos Transparentes		Lagos Turbios		Sig.
	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	
Diversidad (alfa de Fisher)	2.6326	1.8762	1.7777	1.8656	p <0.05*
Riqueza	5.3428	2.5813	4.3088	2.2807	p <0.05*

\* Valor-p Prueba T-Student

### Anexo V b. Variables bióticas por categoría de lago.

	Lagos Transparentes		Lagos Turbios		Sig.
	MEDIANA	Rangos intercuartiles	MEDIANA	Rangos intercuartiles	
Abundancia	22	11.25 - 45.5	44	15 - 89.5	p <0.000*

\* Valor-p Prueba U- Mann-Whitney

### Anexo VI a. Variables fisicoquímicas entre lagos.

	Pojoj		Cinco Lagos		Tziscaco		Agua Tinta		Esmeralda		Península		San José		Sig.
	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	
Temperatura	25.3	0.9425	26.3	2.5272	23.5	1.9451	23.6	1.7596	26.2	1.1607	25.2	1.8127	26.1	1.1065	p <0.000*
pH	8.2	0.1918	7.9	0.3671	8.3	0.1870	8.5	0.5260	7.8	0.1487	7.9	0.3149	7.8	0.2193	p <0.000*
Potencial de Oxígeno-Reducción	65.2	34.0616	65.6	64.6285	70.2	36.1520	30.3	32.4454	45.6	25.5199	17.3	30.1065	7.5	53.7126	p >0.05
Oxígeno Disuelto	6.7	0.4288	5.2	0.8306	6.3	1.3714	6.7	0.9181	6.1	2.3418	5.3	1.1246	5.8	1.4486	p <0.000*

\*Valor de p Prueba ANOVA

	Balamtetik		Chaj_Chaj		Liquidambar		San Lorenzo		Bosque Azul		La Encantada		Sig
	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	
Temperatura (°C)	24.6	1.4874	25.7	1.3854	27.3	1.8453	26.0	0.7944	24.7	1.7843	25.6	0.6325	p <0.000*
pH	7.8	0.3397	8.0	0.3660	8.0	0.3685	8.2	0.3648	7.7	0.5370	8.0	0.3407	p <0.000*
Potencial de Oxígeno-Reducción (mV)	19.0	76.0416	31.7	41.4519	39.6	54.0217	38.5	53.3410	34.4	55.8262	7.1	31.1015	p >0.05

<b>Oxígeno Disuelto (mg/L)</b>	3.8	1.6727	7.5	5.9221	7.4	1.4885	7.3	1.5998	3.8	2.1414	6.0	0.5302	p < 0.000*
--------------------------------	-----	--------	-----	--------	-----	--------	-----	--------	-----	--------	-----	--------	------------

\*Valor de p Prueba ANOVA

### Anexo VI b. Variables fisicoquímicas entre lagos.

	Pojoj		Cinco Lagos		Tzisco		Agua Tinta		Esmeralda		Península		San José		Sig.
	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	MEDI ANA	Rangos Intercuartiles	
<b>Conductividad Eléctrica (µS/cm)</b>	196.5	151-203	284.67	204-333	167	125-392	310	240-384	305.75	247-360	286	278-322	289	268-314	<0.000*
<b>Distancia Disco Secchi (m)</b>	20.4	14.77-23.27	13.05	11.25-18.8	9.28	8.6-9.96	5.32	5.1-5.34	3.795	3.58-4.3	2.2	2.14-4.36	2.245	1.58-4	<0.000*

\*Valor de p Prueba Kruskal-Wallis

	Balamtetik		Chaj_Chaj		Liquidambar		San Lorenzo		Bosque Azul		La Encantada		Sig.
	MEDIA NA	Rangos Intercuartiles	MEDIA NA	Rangos Intercuartiles	MEDIA NA	Rangos Intercuartiles	MEDIA NA	Rangos Intercuartiles	MEDIA NA	Rangos Intercuartiles	MEDIA NA	Rangos Intercuartiles	
<b>Conductividad Eléctrica (µS/cm)</b>	639.5	331-997	385.5	339-531	601.5	595-765	356.585	339-725	367.5	363-971	345.5	318-486	<0.000*
<b>Distancia Disco Secchi (m)</b>	0.125	0.1-0.4	0.475	0.39-0.52	1.06	0.26-1.06	0.79	0.55-1.02	1.04	0.59-1.13	1	0.59-1	<0.000*

\*Valor de p Prueba Kruskal-Wallis

### Anexo VII a. Variables fisicoquímicas por categoría de lago.

	Lagos Transparentes		Lagos Turbios		Sig.
	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	
<b>Temperatura (°C)</b>	25.1822	1.9695	25.7073	1.6720	p > 0.05
<b>pH</b>	8.0647	0.3974	7.9208	0.4175	p > 0.05
<b>Potencial de Oxido-Reducción (mV)</b>	45.5961	45.9199	28.8245	50.7934	p > 0.05
<b>Oxígeno Disuelto (mg/L)</b>	6.0151	1.3966	6.0607	3.2424	P < 0.05

\* Valor-p Prueba T-Student

### Anexo VII b. Variables fisicoquímicas por categoría de lago.

	Lagos Transparentes		Lagos Turbios		Sig.
	MEDIANA	Rangos intercuartiles	MEDIANA	Rangos intercuartiles	
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	279	204 - 294.25	438	356.5 - 627.165	p <0.000*
Distancia Disco Secchi (m)	5.1	3.685 - 12.15	0.79	0.51 - 1.02	p <0.000*

\* Valor-p Prueba U- Mann-Whitney

### Anexo VIII a. Nutrientes entre lagos.

	Pojoj		Cinco Lagos		Tzisco		San José		Chaj_Chaj		Bosque Azul		Sig.
	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	
Nitrógeno total (mg/L)	1.0165	0.0390	0.8944	0.3573	0.6398	0.0659	1.1137	0.0916	2.2883	0.3467	1.5650	0.5971	p <0.000*
Fosforo total (mg/L)	0.0748	0.0240	0.0567	0.0203	0.0401	0.0075	0.0844	0.0102	0.2586	0.1171	0.2859	0.0665	p <0.000*

\*Valor de p Prueba ANOVA

### Anexo VIII b. Nutrientes entre lagos.

	Pojoj		Cinco Lagos		Tzisco		San José		Chaj_Chaj		Bosque Azul		Sig.
	MEDIAN A	Rangos Intercuartiles	MEDIAN A	Rangos Intercuartiles	MEDIAN A	Rangos Intercuartiles	MEDIAN A	Rangos Intercuartiles	MEDIAN A	Rangos Intercuartiles	MEDIAN A	Rangos Intercuartiles	
NH <sub>4</sub> (mg/L)	0.0526	0.0297-0.0754	0.1067	0.0198-0.1937	0.0384	0.0079-0.0384	0.0882	0.0706-0.1058	0.0559	0.0350-0.0768	0.0474	0.0154-0.2285	p >0.05
NO <sub>2</sub> (mg/L)	0.0550	0.0210-0.0890	0.0184	0.0113-0.0254	0.0134	0.0101-0.0167	0.0264	0.0096-0.0431	0.0768	0.0030-0.1506	0.0139	0.0096-0.0440	p >0.05
NO <sub>3</sub> (mg/L)	1.4616	0.1600-2.7632	1.1011	0.1872-2.0150	15.8958	0.4143-31.3772	1.3910	0.0167-2.7653	1.6084	0.2228-1.6084	0.4206	0.1496-0.4206	p >0.05
PO <sub>4</sub> (mg/L)	0.0049	0.0047-0.0049	0.0039	0.0028-0.0051	0.0099	0.0062-0.0099	0.0098	0.0083-0.0112	0.0334	0.0075-0.0593	0.0165	0.0137-0.0170	p <0.05*
NID (mg/L)	1.5692	0.2565-2.8820	1.2262	0.3922-2.0602	15.9475	0.4932-15.9475	1.5056	0.1321-2.8791	1.7411	0.2608-3.2214	0.6631	0.2066-36.4545	p >0.05

\*Valor de p Prueba Kruskal-Wallis

### Anexo IX a. Nutrientes por categoría de lago.

	MEDIA	Desv. Est.	MEDIA	Desv. Est.	Sig.
Nitrógeno total (mg/L)	0.8521	0.3169	1.844	0.6470	p <0.000*
Fosforo total (mg/L)	0.0601	0.0257	0.2476	0.0975	p <0.000*

\* Valor-p Prueba T-Student

### Anexo IX b. Nutrientes por categoría de lago.

	Lagos Transparentes		Lagos Turbios		Sig.
	MEDIANA	Rangos intercuartiles	MEDIANA	Rangos intercuartiles	
NH <sub>4</sub> (mg/L)	0.0515	0.0222 - 0.07422	0.0559	0.0295 - 0.1459	p >0.05
NO <sub>2</sub> (mg/L)	0.0154	0.0103 - 0.0243	0.0284	0.0064 - 0.1026	p >0.05
NO <sub>3</sub> (mg/L)	0.3044	0.1701 - 2.5761	0.7085	0.2790 - 2.4945	p >0.05
PO <sub>4</sub> (mg/L)	0.0056	0.0047 - 0.0080	0.0459	0.0201 - 0.0575	p <0.05*
NID (mg/L)	0.4426	0.2625 - 2.6743	0.9357	0.3634 - 2.7181	p >0.05

\* Valor-p Prueba U- Mann-Whitney

Anexo X. Correlación general de la abundancia contra las variables fisicoquímicas y nutrientes. Los valores de r son los de la diagonal inferior y el los valores de la probabilidad exacta del error son los de la diagonal superior.

	Abundancia	Temperatura	pH	OD	ORP	Conductividad	NH4	NO2	NO3	PO4	NID	Pt	Nt	D_Secchi
Abundancia	0	0.18776	0.82723	0.98865	0.45915	0.0027737	0.49447	0.54214	0.31803	0.0093144	0.38201	0.064708	0.59305	0.14444
Temperatura	0.37397	0	0.51195	0.10618	0.8606	0.21462	0.3543	0.96237	0.33582	0.1964	0.34133	0.095557	0.15444	0.24644
pH	-0.064261	-0.19149	0	0.040052	1.69E-01	0.18794	0.41966	0.61415	0.10292	0.021429	0.14918	0.52747	0.2501	0.02395
OD	0.0041935	-0.45027	0.55347	0	0.10031	0.70665	0.95448	0.65703	0.50596	0.25331	0.60092	0.88423	0.31817	0.24548
ORP	0.2156	0.051727	0.38945	0.45713	0	0.79948	0.27961	0.022263	0.80737	0.5942	0.69001	0.16996	0.63176	0.85824
Conductividad	0.7345	0.35379	0.37383	-0.11059	0.074767	0	0.22665	0.64244	0.4095	4.00E-06	0.32711	0.00024399	0.092492	0.0034998
NH4	0.19933	0.26797	0.23451	0.016823	-0.3107	0.34527	0	0.54676	0.78237	0.31932	0.76319	0.48364	0.35344	0.2847
NO2	-0.17822	0.013905	0.14778	-0.13031	-0.60366	-0.1362	0.17622	0	0.63101	0.99251	0.80949	0.58487	0.68424	0.66028
NO3	0.288	-0.27803	0.45405	0.19416	0.07177	0.23953	0.081283	-0.14086	0	0.93103	4.00E-08	0.93317	0.46876	0.88223
PO4	0.66599	0.36729	0.60667	-0.32732	-0.15606	0.9168	0.28727	0.0027679	0.025508	0	0.76224	0.0059017	0.052965	0.0068285
NID	0.25342	-0.275	0.40653	0.15325	-0.11715	0.28287	0.088628	0.070969	0.96201	0.088994	0	0.93884	0.36036	0.86784
Pt	-0.50627	-0.46289	0.18463	0.042897	-0.38839	-0.82938	-0.20426	0.15997	0.024714	-0.69396	0.022611	0	0.0060467	0.015611
Nt	0.15654	0.40178	0.32941	-0.28792	0.14055	0.46672	-0.26843	0.11944	-0.21111	0.52674	-0.26474	-0.69254	0	0.044161
D_Secchi	-0.41088	-0.33182	0.59782	0.33246	0.052608	-0.72271	-0.30759	0.129	0.043644	-0.68533	0.049017	0.63062	-0.54435	0

Anexo XI. Correlación de lagos transparentes, abundancia contra las variables fisicoquímicas y nutrientes. Los valores de r son los de la diagonal inferior y el los valores de la probabilidad exacta del error son los de la diagonal superior.

0	Abundancia	Temperatura	pH	OD	ORP	Conductividad	NH4	NO2	NO3	PO4	NID	Pt	Nt	D_Secchi
Abundancia	0	0.78784	0.52137	0.7957	0.46367	0.53922	0.0062141	0.88418	0.26341	0.74252	0.41234	0.087494	0.91679	0.97032
Temperatura	-0.11414	0	8.85E-01	0.23451	4.99E-01	0.40061	0.97766	0.72645	0.49016	0.36833	0.47681	0.43624	0.091639	0.65263
pH	0.2678	0.061568	0	0.45211	6.76E-01	0.24495	0.57896	0.68194	0.16055	0.014799	0.12458	0.21379	0.33762	0.1046
OD	-0.11023	-0.47479	0.31183	0	0.40594	5.22E-01	0.53457	0.24701	0.89821	0.30083	0.94863	0.28552	0.52637	0.73913
ORP	0.30431	-0.2816	0.1764	0.34272	0	0.8916	0.16054	0.84017	0.16537	0.65837	0.36097	0.20849	0.3933	0.4885
Conductividad	0.25682	-0.34639	0.46561	0.26762	0.057944	0	0.97743	0.37368	0.44766	0.042546	0.89224	0.89224	0.38503	0.011067
NH4	-0.85957	-0.011915	0.23283	0.25967	0.54706	-0.01204	0	0.93441	0.29608	0.87781	0.50668	0.20966	0.98382	0.46538
NO2	0.061927	0.14804	0.17305	0.46382	0.085699	-0.36521	0.035009	0	0.37985	0.49626	0.31758	0.74216	0.58991	0.29651
NO3	0.44985	-0.28734	0.54704	0.054396	0.54186	0.31475	-0.423265	0.36085	0	0.59307	3.91E-05	0.13757	0.024129	0.96853
PO4	0.13911	-0.36905	0.8099	0.41951	0.18648	0.72338	0.065355	0.28349	0.22445	0	0.56596	0.46396	0.88696	0.092886
NID	0.33836	-0.29584	0.58885	0.02741	0.37431	0.31445	-0.27694	0.40653	0.97484	0.24061	0	0.23581	0.0099312	0.9815
Pt	0.63988	-0.3223	0.49364	0.43169	0.49862	-0.057601	-0.49751	0.13931	0.57306	0.30412	0.47363	0	0.61923	0.9423
Nt	0.044487	0.63362	0.39141	0.26471	0.35144	-0.35721	0.0086322	0.22632	0.7742	0.060437	0.83474	0.20909	0	0.98436
D_Secchi	0.015829	0.18977	0.61506	0.14099	0.28839	-0.82838	-0.3032	0.42292	0.016786	0.63177	0.0098648	0.03079	0.0083391	0

Anexo XII. Correlación de lagos turbios, abundancia contra las variables fisicoquímicas y nutrientes. Los valores de r son los de la diagonal inferior y el los valores de la probabilidad exacta del error son los de la diagonal superior.

0	Abundancia	Temperatura	pH	OD	ORP	Conductividad	NH4	NO2	NO3	PO4	NID	Pt	Nt	D_Secchi
Abundancia	0	0.21466	0.84584	0.233	0.7783	0.099687	0.3284	0.3865	0.4757	0.2176	0.44119	0.5731	0.2526	0.0456
Temperatura	0.5931	0	0.84168	9.82E-01	0.8207	0.91044	0.3307	0.4598	0.3742	0.95741	0.5043	0.4177	0.0510	0.0435
pH	0.10314	-0.10594	0	0.0548	2.25E-02	0.9156	0.8592	0.2428	0.6769	0.30877	0.97346	0.0961	0.9132	0.7082
OD	0.57456	-0.011836	0.80212	0	0.1139	0.25868	0.9890	0.2231	0.2867	0.90969	0.52961	0.0308	0.9629	0.7441
ORP	0.14885	0.12009	0.87499	0.7099	0	0.91814	0.4900	0.0398	0.7786	0.35908	0.45785	0.2291	0.8417	0.8576
Conductividad	0.72975	-0.05978	0.05632	0.5495	0.0546	0	0.6171	0.6740	0.0574	0.04672	0.05625	0.1822	0.8288	0.4388
NH4	0.48593	0.48391	0.09410	0.0073	0.3548	0.2612	0	0.6075	0.5156	0.77196	0.3344	0.7431	0.0235	0.6058
NO2	-0.43674	-0.37813	0.56485	0.5844	0.8321	-0.22088	0.2680	0	0.7255	0.94624	0.53096	0.3243	0.8412	0.2778
NO3	0.36584	-0.44693	0.21888	0.5232	0.1486	0.7974	0.3355	0.1850	0	0.32262	0.00202	0.1416	0.9289	0.7413
PO4	0.59009	0.028398	0.50332	0.0602	0.4596	0.8179	0.1532	0.0358	0.4910	0	0.2011	0.7924	0.9215	0.2985
NID	0.39273	-0.34404	0.01769	0.3250	0.3796	0.79953	0.4807	0.3240	0.9630	0.60723	0	0.3402	0.8612	0.8697
Pt	-0.29297	0.41134	0.73485	0.8530	0.5784	-0.62758	0.1729	0.4895	0.6745	-0.1393	0.47568	0	0.5931	0.8273
Nt	-0.55535	-0.80942	0.05788	0.0247	0.1059	-0.1146	0.8718	0.1062	0.0474	0.05236	0.09276	-	0.2416	0.2784
D_Secchi	0.82002	0.82448	0.19705	0.1722	0.0952	0.39456	0.2692	-	0.1742	0.51251	0.08704	0.1155	0.5659	0

Anexo XIII. Correlación de lagos turbios, riqueza contra las variables fisicoquímicas y nutrientes. Los valores de r son los de la diagonal inferior y el los valores de la probabilidad exacta del error son los de la diagonal superior.

Riqueza	Temperatura	pH	OD	ORP	Conductividad	NH4	NO2	NO3	PO4	NID	Pt	Nt	D_Secc hi
0	0.088261	0.37175	0.35857	0.89817	0.32038	0.9691	0.80738	0.033259	0.85126	0.098914	0.071065	0.522589	0.238276
0.74648	0	0.84168	0.98225	0.82073	0.91044	0.33079	0.45984	0.37424	0.95741	0.5043	0.41779	0.051019	0.043506
-0.44901	-0.10594	0	0.054863	0.022464	0.9156	0.85926	0.24284	0.67692	0.30877	0.97346	0.096138	0.913278	0.70826
-0.46008	-0.011836	0.80212	0	0.11398	0.25868	0.98903	0.22315	0.28676	0.90969	0.52961	0.030802	0.96292	0.74416
0.067989	0.12009	0.87499	7.10E-01	0	0.91814	0.49007	0.039895	0.77862	0.35908	0.45785	0.22912	0.84171	0.85762
-0.49303	-0.05978	0.056326	0.54953	-5.46E-02	0	0.61711	0.67407	0.057413	0.04672	0.056253	0.182223	0.82885	0.43887
-0.0206	0.48391	0.094102	0.007316	-0.35485	0.2612	0	0.6075	0.51561	0.77196	0.3344	0.74316	0.023589	0.60587
-0.12913	-0.37813	-0.56485	0.58444	-0.83215	-0.22088	0.26809	0	0.72555	0.94624	0.53096	0.32438	0.84122	0.27782
-0.84715	-0.44693	0.21888	0.52324	-0.14868	0.7974	0.33552	0.18508	0	0.32262	0.002022	0.14164	0.92894	0.7413
0.099489	0.028398	-0.50332	0.060278	-0.45965	0.8179	0.15323	0.035856	0.49105	0	0.2011	0.7924	0.92152	0.29854
-0.73085	-0.34404	0.017698	0.32504	-0.37967	0.79953	0.48077	0.32403	0.96306	0.60723	0	0.34029	0.86125	0.86976
0.77363	0.41134	-0.73485	0.85306	-0.57843	-0.62758	0.17295	0.48951	0.67455	-0.1393	-0.47568	0	0.59319	0.82738
-0.33029	-0.80942	0.057881	0.024725	0.10592	-0.1146	0.87183	0.10625	0.047407	0.052365	0.092768	-0.2784	0	0.24168
0.56934	0.82448	-0.19705	0.17226	0.095205	0.39456	0.26926	-0.5315	0.17423	0.51251	0.087044	0.11559	0.56598	0

Anexo XIV. Correlación de lagos turbios, diversidad contra las variables fisicoquímicas y nutrientes. Los valores de r son los de la diagonal inferior y el los valores de la probabilidad exacta del error son los de la diagonal superior.

Diversidad	Temperatura	pH	OD	ORP	Conductividad	NH4	NO2	NO3	PO4	NID	Pt	Nt	D_Seccion
0	0.76654	0.25545	0.035048	0.55003	0.036519	0.58662	0.54219	0.027809	0.45451	0.084449	0.024307	0.852079	0.825196
0.15693	0	0.84168	0.98225	0.82073	0.91044	0.33079	0.45984	0.37424	0.95741	0.5043	0.41779	0.051019	0.043506
-0.55262	-0.10594	0	0.054863	0.022464	0.91566	0.85926	0.24284	0.67692	0.30877	0.97346	0.096138	0.91327	0.70826
-0.84298	-0.011836	0.80212	0	0.11398	0.25868	0.98903	0.22315	0.28676	0.90969	0.52961	0.030802	0.96292	0.74416
-0.3099	0.12009	0.87499	0.70996	0	0.91814	0.49007	0.039895	0.77862	0.35908	0.45785	0.22912	0.84171	0.85762
-0.83962	-0.05978	0.056326	0.54953	0.05463	0	0.61711	0.67407	0.057413	0.04672	0.056253	0.18222	0.82885	0.43887
-0.28315	0.48391	0.094102	0.007316	0.35485	0.2612	0	0.6075	0.51561	0.77196	0.3344	0.74316	0.023589	0.60587
0.31569	-0.37813	-0.56485	0.58444	0.83215	-0.22088	0.26809	0	0.72555	0.94624	0.53096	0.32438	0.84122	0.27782
-0.86056	-0.44693	0.21888	0.52324	0.14868	0.7974	0.33552	0.18508	0	0.32262	0.002022	0.14164	0.92894	0.7413
-0.38228	0.028398	-0.50332	0.060278	0.45965	0.8179	0.15323	0.035856	0.49105	0	0.2011	0.7924	0.92152	0.29854
-0.75228	-0.34404	0.017698	0.32504	0.37967	0.79953	0.48077	0.32403	0.96306	0.60723	0	0.34029	0.86125	0.86976
0.86985	0.41134	-0.73485	0.85306	0.57843	-0.62758	0.17295	0.48951	0.67455	-0.1393	-0.47568	0	0.59319	0.82738
0.098943	-0.80942	0.057881	0.024725	0.10592	-0.1146	0.87183	0.10625	0.047407	0.052365	0.092768	-0.2784	0	0.24168
-0.11707	0.82448	-0.19705	0.17226	0.095205	0.39456	0.26926	-0.5315	0.17423	0.51251	0.087044	0.11559	0.56598	0