

POR: GIL PADILLA, Luz Nidia¹ / PEDROZA RAMOS, Adriana Ximena² / ARANGUREN RIAÑO, Nelson Javier³

VALORACIÓN AMBIENTAL

DEL LITORAL DEL LAGO DE TOTA BASADO EN ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DE MACROINVERTEBRADOS

¹MSc (c) Escuela de Ciencias Biológicas
Grupo de investigación Unidad de Ecología en Sistemas Acuáticos – UDESA
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Email: luznidia.gil@uptc.edu.co

²Bióloga, Escuela de Ciencias Biológicas
Grupo de investigación Unidad de Ecología en Sistemas Acuáticos – UDESA
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Email: adrixipe@gmail.com

³Ph.D., Escuela de Ciencias Biológicas
Coordinador Grupo de investigación Unidad de Ecología en Sistemas Acuáticos – UDESA
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Email: nelson.aranguren@uptc.edu.co

Recibido: 1 de julio de 2016

Aceptado para publicación: 21 de septiembre 2016

Tipo: Investigación

RESUMEN

Durante los últimos años la sobre explotación de los recursos naturales en el lago de Tota y su cuenca han afectado las condiciones naturales del lago, y por ende, la distribución y abundancia de la fauna y flora que allí habitan. Con el fin de diseñar un instrumento de evaluación de la calidad ambiental en la zona litoral del lago, en especial aquella dominada por *Egeria densa*, se estudiaron aspectos como densidad, biomasa y grupos funcionales de los macroinvertebrados asociados a esta planta y se complementó con análisis de variables ambientales como pH, conductividad eléctrica, temperatura y oxígeno disuelto en 8 zonas. Se diseñó, aplicó y validó un sistema de evaluación que integra variables físicas, químicas, biológicas y que considera 3 categorías de calidad: calidad baja (sectores Llano de Alarcón, Piscicol y Los Pozos), calidad aceptable (sectores: El Túnel, Pispesca y Hato Laguna) y calidad intermedia (sectores: La Playa y La Custodia). Un modelo de regresión múltiple permitió validar las categorías de calidad, con un 66 %, en el cual la densidad de macroinvertebrados fue la variable explicativa más significativa. Esta es una herramienta que brinda insumos para la evaluación permanente de la calidad ambiental y el diseño de planes de manejo ambiental del lago de Tota.

PALABRAS CLAVE

Macroinvertebrados, Grupos funcionales, Densidad, Sistema acuático, *Egeria densa*.

ABSTRACT

During the last years, the over-exploitation of natural resources at lago de Tota and its watershed have affected the natural conditions of the lake, and thus, the abundance as well as the distribution of the wildlife which inhabits in the place. The aim was to design an evaluation tool of the environmental quality at the lake's shoreline zone, specially the one formed by the *Egeria Densa*, aspects like density, biomass, and macro-invertebrate functional groups of this plant were studied. The study was complemented by an environmental-variable analysis such the pH, electric conductivity, temperature, and oxygen diluted at 8 areas. An assessment system was designed, applied and validated, which integrates physical, chemical, and biological variables, as well as it consolidates 3 quality categories: low quality (Llano de Alarcón, Piscicol, and Los Pozos sectors), acceptable quality (El Túnel, Pispesca, and Hato Laguna sectors), and intermediate quality (La Playa, and La Custodia sectors). A multiple regression model allowed the validation of the quality categories, with a 66%, at which the macro-invertebrate density was the most significant explanatory variable. This is a tool which provides input products for the permanent assessment of the environmental quality, as well as the environmental management plans of lago de Tota lake.

Keywords:

Macro-invertebrate, Functional Groups, Density, Aquatic System, *Egeria Densa*

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE LAGO DE TOTA SHORELINE BASED ON MACRO-INVERTEBRATED FUNCTION AND STRUCTURE

INTRODUCCIÓN

El agua dulce tiene un papel fundamental para el soporte vital de los seres vivos y especialmente para el ser humano, el consumo de este recurso varía entre diversas regiones y países. Los múltiples usos para hacer frente al crecimiento poblacional y demás demandas industriales y agrícolas han generado una fuerte presión sobre las fuentes hídricas, creando la necesidad de desarrollar estrategias para evaluar y prevenir daños. (Jorgensen *et al.*, 2005; Tundisi & Tundisi, 2011). Los macroinvertebrados presentes en la zona litoral del lago de Tota, se convierten en un grupo estratégico para evaluar las condiciones en que se encuentra dicha zona. Esto debido principalmente a que su cuenca presenta una fuerte explotación de la tierra con la siembra intensiva de la cebolla junca, (*Allium fistulosum L.*), exponiéndolo, por tanto, a problemas de eutrofización, acidificación y proliferación descontrolada de la vegetación acuática (Raymond, 1990; Monroy, 2002), cambiando progresivamente las condiciones físicas y químicas del sistema al igual que las biológicas.

A parte del problema con los cultivos, la producción de proteína animal, la pérdida de cobertura vegetal, colector de aguas servidas del municipio aledaño y servicios como el turismo, se han generado grandes conflictos de uso. Estudios científicos recientes muestran el deterioro que ha tenido el lago, como consecuencia de las actividades mencionadas anteriormente. Muñoz *in prep.* (2014) en su estudio sobre la comunidad de algas del plancton señala que el lago presenta una marcada tendencia a aumentar su estado trófico (de oligo a meso-eutrófico) basándose en características funcionales de las algas; Aranguren *in prep.* (2015), ratifica esta información en la investigación sobre el Flujo de nutrientes para el lago de Tota, concluyendo que el grado de eutrofización en que este se encuentra es elevado, debido al enriquecimiento de nitrógeno y fósforo. Es por esto que describir la calidad ambiental actual del litoral mediante el estudio de los macroinvertebrados es un aporte significativo para establecer los cambios del sistema a través del tiempo y conocer el grado de deterioro al que está expuesto y así poder proponer alternativas ecológicas aceptables para el sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La cuenca del lago de Tota está situada en la divisoria de aguas de la Cordillera Oriental en el departamento de Boyacá, entre los 5°30' y 5°40' de latitud Norte y los 72°50' y 73°00' de longitud Este. En la actualidad hace parte de los municipios de Aquitania, Tota y Cuitiva, (Cañon, 2001). El lago está localizado a 3015 m s. n. m. y cuenta con un área de 56,2 km², una profundidad de 60 m, un volumen de 1920 millones m³ y es considerado de origen tectónico y por acción glacial (Roldan & Ramírez, 2008). Posee una temperatura media mensual entre 9,9 y 11,7 °C (Cordero *et al.*, 2005).

Se trabajaron ocho puntos de muestreo, algunos de los que tiene la corporación autónoma regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ) para su programa de monitoreo (Figura 1): cuatro en la cubeta del lago grande: Llano de Alarcón, El Túnel, Hato Laguna y Piscicol y cuatro en la cubeta del lago Chico: Los Pozos, La custodia, La "Playa" y Pispesca. Se realizaron cuatro muestreos entre los meses de abril y octubre de 2012.

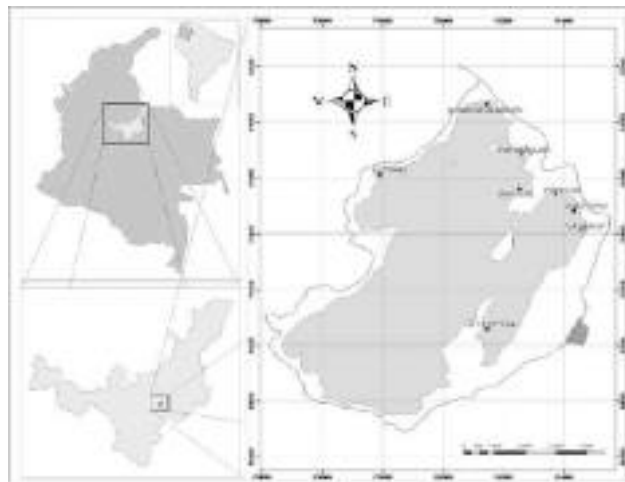


Figura 1. Mapa del lago de Tota con los 8 puntos establecidos para el muestreo.

Fase de campo

En cada punto se colectó de forma directa 1 kg de la macrófita enraizada predominante (*Egeria densa*), viva de color verde intenso, a la periferia de cada parche. Con ayuda de una red cónica de 50 cm de diámetro, con poro de 3 mm y el aza de 3 metros. Se depositó el material vegetal en bolsas plásticas rotuladas y con alcohol al 96 % para su preservación (Fernández y Domínguez, 2001). Se tomó información simultánea a nivel superficial de temperatura del agua, pH, concentración de oxígeno y conductividad eléctrica, con el medidor multiparamétrico modelo HI 9829 marca HANNA.



Fase de Laboratorio

En el laboratorio se lavó y tamizó a través de malla de 0,45 micras de poro la muestra vegetal para extraer los macroinvertebrados asociados. Se separaron los organismos bajo estereoscopio, procesando 3 alícuotas por muestra de 20 ml cada una. Por último, se realizó la determinación taxonómica con claves especializadas como: Brinkhurst y Marchese (1991), Clifford (2003), Domínguez *et al.* (2006), Fernández y Domínguez (2001), De la Fuente (1994), Heckman (2006 y 2008), McCafferty y Provonsha (1981), Merritt y Cummins (1979), Milligan (1997), Muñoz y Vélez (2007), Roldán (1996), Novelo (1997), Posada y Roldán (2003), Pennak (1989), Borrory White (1970), Springer (2006) y Wiggins (1996), entre otras. Para hallar las densidades y abundancias se efectuó el conteo directo por taxón y para biomasa se estimó el peso seco, mediante secado a 105 °C durante 4 horas Wetzel y Likens (1991). Para determinar los grupos tróficos de los macroinvertebrados se consideró la propuesta de Tomanova (2006).

Tratamiento de datos

Se elaboraron matrices primarias, de los resultados físicos y químicos, así como de densidad, abundancia y biomasa de los macroinvertebrados, con las cuales se realizaron análisis exploratorios y estadística descriptiva. Se realizó el Análisis de Componentes Principales (ACP), para establecer variables físicas y químicas determinantes del ordenamiento espacio-temporal y así ponderarlas como base de los criterios de categorización como lo muestra la Tabla 1. Para confirmar la asignación de la categoría de calidad a las variables físicas y químicas de más relevancia en el ACP, se realizó una ANOVA de un factor en el programa PAST versión libre y para las densidades, se realizó un análisis con cajas y bigotes, elaborado en el programa SPSS versión de prueba. (Zar, 2010; Guisande *et al.* 2011).

Tabla 1. Categorización y criterios propuestos para variables físicas, químicas y biológicas.

CALIDAD ECOLÓGICA	VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS	VARIABLES BIOLÓGICAS (Densidad, biomasa, grupos funcionales)
CATEGORÍA I – Aceptable	Valores altos de oxígeno y bajos de conductividad.	Valor inferior al promedio menos 0,5 DS.
CATEGORÍA II – Media	Valores medios de oxígeno y de conductividad.	Valor es igual o cercano al promedio.
CATEGORÍA III - Baja	Valores bajos de oxígeno y altos de conductividad.	Valor superior al promedio más 0,5 media DS.

A partir de los análisis exploratorios realizados a cada una de las variables biológicas (Tabla 1), se establecieron los rangos de variación mencionados anteriormente (promedio \pm 0,5 DS) como criterio de asignación a la categoría de calidad respectiva para cada punto y periodo de muestreo.

Se construyó un cuadro síntesis para estimar la frecuencia de coincidencia de una categoría a cada zona. La asignación definitiva de una categoría de calidad ecológica a una zona, se hizo por la mayor frecuencia de coincidencias estimada (Tabla 2). Finalmente, se realizó una regresión logística multinomial en programa estadístico R (versión libre), para validar las categorías y determinar las variables que mejor se ajustaron al modelo propuesto de predicción de la calidad ambiental (Guisande *et al.*, 2011).

Tabla 2. Variables físicas, químicas y biológicas tomadas en el estudio.

1. Densidad Total	7. Densidad <i>Hyalella</i>	13. Fragmentador densidad
2. Biomasa Total	8. Biomasa <i>Hyalella</i>	14. Fragmentador biomasa
3. Densidad Orthocladinae >5mm	9. Depredadores densidad	15. Detritívoros densidad
4. Biomasa Orthocladinae >5mm	10. Depredadores biomasa	16. Detritívoros biomasa
5. Densidad Orthocladinae <5mm	11. Rapadores densidad	17. Conductividad
6. Biomasa Orthocladinae <5mm	12. Rapadores biomasa	18. Oxígeno

RESULTADOS

Variables Físicas y Químicas

La conductividad con promedios altos en las zonas de Llano de Alarcón, y Hato Laguna con 83 y 82 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente y el oxígeno con valores altos en Los Pozos y Piscicol con 6,3 y 5,9 mg/L respectivamente, fueron las dos variables que presentaron un cambio espacial y temporalmente importante. Por el contrario, el pH y la temperatura no tuvieron cambios significativos en el estudio (Figura 2).

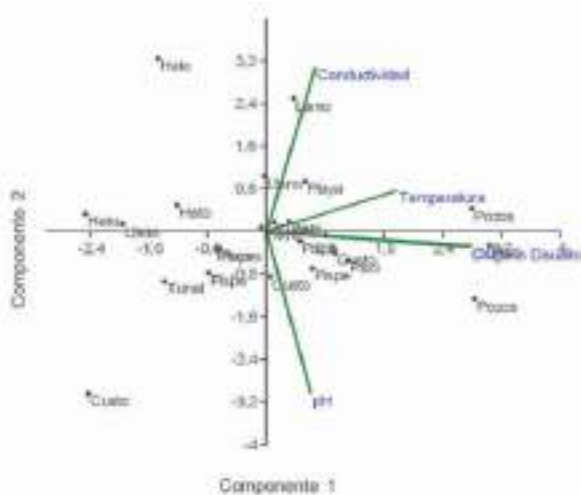


Figura 2. Análisis de componentes principales (ACP) para los datos de pH, Oxígeno disuelto (DOppm), conductividad y temperatura en los ocho puntos (Hato=Hato Laguna; Llano=Llano de Alarcón; Tunel=El Túnel; Pisce=Pispeca; Pozos=Los Pozos; Playa="La Playa"; Custo=La Custodia y Pisci=Piscicol) de muestreo en los cuatro muestreos.



El comportamiento de las variables físicas y químicas medidas en cada uno de los puntos, muestra que el oxígeno disuelto es la variable que presenta un coeficiente de variación heterogéneo para la mayoría de las zonas, mientras que las variables de conductividad, temperatura y pH presentan un coeficiente de variación regularmente homogéneo (Figura 2).

La conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto explican el 76 % de la variabilidad de los datos. Las zonas que tuvieron mayores concentraciones de conductividad presentaban, menores cantidades de oxígeno y viceversa (Tabla 1). Con estos resultados se estableció una categorización para cada zona.

Por último, el resultado de la prueba de análisis de varianza, para la variable oxígeno ($F= 5,02$; $gl= 2$; $p=0,017$) mostró diferencia entre las medias de las zonas estudiadas lo que significa que hay zonas que presentan mayor producción o mayor consumo, esto dependerá básicamente de la cantidad de materia orgánica.

Biológicos

La composición de la comunidad de macroinvertebrados, en los cuatro muestreos para los ocho puntos, fue de 18 morfo-especies, las cuales están distribuidas en 4 Phyla, 9 órdenes, 16 familias, 16 géneros., Las zonas con mayor riqueza fueron Los Pozos, la "Playa" y Hato



Laguna, con 14 morfo-especies identificados, mientras que la menor riqueza se presentó en el Túnel con tan solo 7 morfo-especies (Tabla 3).

Densidad

En la Figura 3 se muestra la variabilidad de la densidad entre las zonas y su relación con la categoría de calidad ecológica. La categoría de calidad aceptable presenta el valor más bajo de densidad en las zonas del Túnel y Hato Laguna, con baja dispersión de sus datos. Por el contrario, la zona que tiene la mayor densidad Piscicol, presenta una dispersión de sus datos significativa, mientras que para la zona de Los pozos los datos de densidades son proporcionados, ambos en la categoría de calidad baja (rojo). Las dos zonas que corresponden a la categoría media (amarillo) presentan densidades medias similares a la categoría baja. Adicionalmente, La "Playa" tiene una baja dispersión de los datos, mientras que La Custodia tiene mayor dispersión. La diferencia estadística se evidencia entre la categoría aceptable (verde) y la categoría baja (rojo), porque la amarilla está más cerca de la categoría baja.

Tabla 3. Composición de la comunidad de macroinvertebrados.

Phylum*	Familia	Especie	Pispeca	Los Pozos	La "Playa"	Llano de Alarcón	El Túnel	La Custodia	Piscicol	Hato laguna
Platyhelminthes	DugesIIDae	<i>Girardia</i> sp.	0	x	x	0	0	x	x	x
Annelida	Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i> sp.	x	x	x	x	0	x	x	x
Arthropoda	Dogielinotidae	<i>Hyalella</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x
	Coenagrionidae	<i>Enallagma</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x
	Aeshnidae	<i>Anax</i> sp.	0	x	x	x	0	x	x	0
	Corixidae	<i>Neosigara</i> Adulto?	0	0	0	x	0	x	0	x
		<i>Neosigara</i> inmaduro?	x	x	x	x	0	x	0	x
	Notonectidae	<i>Notonecta</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	x
	Gyrinidae	<i>Gyrinus</i> sp.	0	x	x	0	0	x	x	0
	Hydrophilidae	<i>Tropisternus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	x
	Scirtidae	<i>Scirtes</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	x
	Chironomidae	Chironominae $\geq 5mm$	x	x	x	x	x	x	x	x
		Chironominae $< 5mm$	x	x	x	x	x	x	x	x
		Tanypodinae	x	x	x	x	0	x	x	x
	Empididae	<i>Hemerodromia</i> sp.	0	0	x	0	0	0	0	0
		<i>Chelifera</i> sp.	0	x	x	0	x	x	0	x
	Hydroptiliidae	<i>Oxyethira</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x
Mollusca	Physidae	<i>Physella</i> sp. $\geq 4mm$	x	x	x	x	x	x	x	x
		<i>Physella</i> sp. $< 4mm$	x	x	x	x	x	x	x	x
	Planorbidae	<i>Planorbis</i> sp.	x	x	0	x	0	x	0	0
	Ancylidae	<i>Ferrisia</i> sp.	x	x	x	x	x	0	x	x
TOTAL			10	14	14	11	7	13	11	14

*Orden sistemático según Brusca & Brusca (2003).

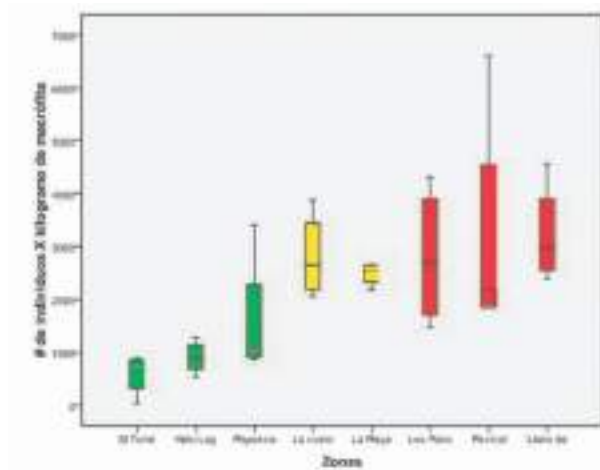


Figura 3. Diagrama de cajas para densidad de macroinvertebrados por zona, según las categorías propuestas.

Grupo Funcional

Los grupos funcionales que dominaron fueron el detritívoro y los depredadores. La relevancia para el primer grupo se da por la importancia de la materia orgánica proveniente principalmente de la descomposición de la macrófita *Egeria* densa. Lo que lleva a tener oferta de recurso para los segundos.

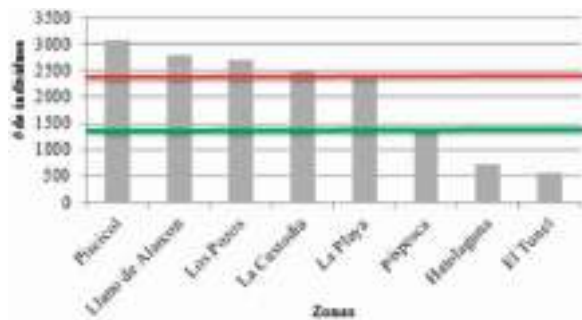


Figura 4. Densidad de detritívoros rango para establecer las categorías: calidad baja - línea roja (corresponde al promedio más 0,5 DS). Calidad aceptable - línea verde, (corresponde al promedio menos 0,5 DS).

En esta categorización, la Figura 4 evidencia como los puntos de Piscicol, Llano de Alarcón, Los Pozos tienen un valor superior al rango establecido, ubicándose en una categoría III, mientras que los puntos La "Playa" y La Custodia tienen un valor cercano a la media, encontrándose en la categoría II. Por último, Pispesca, Hato Laguna y el Túnel, tienen un valor inferior al rango, y se ubican en la categoría I.

Categorización por frecuencia

En la tabla 4 se presenta la frecuencia estimada para las variables mencionadas en la tabla 2. Se observa que El Túnel, tuvo la totalidad de las variables que lo ubicaban en la categoría I (aceptable), en contra posición





para Llano de Alarcón situado en la categoría III con 17 variables (baja). En el caso de Los Pozos a pesar de tener un empate en el número de variables en las categorías II y III, se ubicó en la categoría III dado que las 7 variables de la categoría II estaba más cerca a los valores de la categoría III que de la I.

Tabla 4. Frecuencia estimada considerando las 18 variables ambientales y asignación final de categoría de calidad para cada una de las zonas.

zona/categoría	Aceptable I	Media II	Baja III
El Túnel	18	0	0
Hato Laguna	10	3	5
Pispesca	9	8	1
La Custodia	2	12	4
La “playa”	5	10	3
Los Pozos	4	7	7
Piscicol	6	4	8
Llano de Alarcón	0	1	17

En la Figura 5 se presenta la categorización final de los 8 puntos. Se observa como, según esta categorización, el margen Noreste de la cubeta grande del lago tiende a una condición más crítica, con excepción de Hato Laguna. Mientras que la cubeta chica solo tiene la zona de Pispesca en condición aceptable, dos zonas la “Playa” y La Custodia en un nivel medio y Los Pozos en un nivel bajo de calidad ecológica.

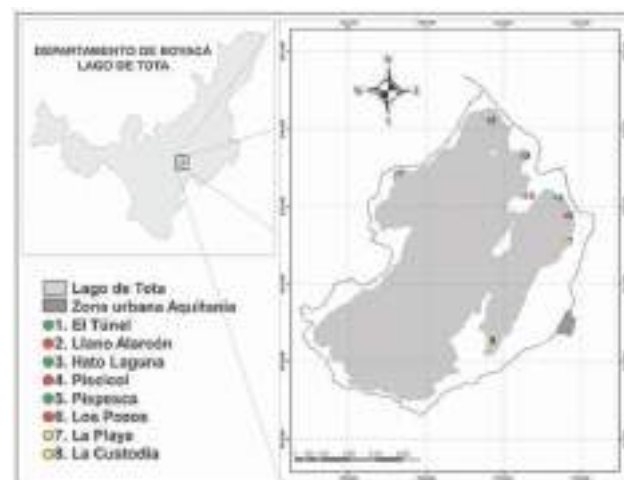


Figura 5. Mapa de Zonificación Ambiental con la Categorización de las Zonas.

Modelo de Regresión

El modelo de regresión logística multinomial permite validar en esta fase de exploración, las variables Biomasa y Densidad, como significativas para predecir las categorías de calidad ecológica I, II y III (Tabla 5).

El porcentaje de acierto en la predicción general es del 66 %. Sin embargo, establece que la Densidad de

macroinvertebrados es la variable que mejor acierto tiene en la predicción con un 70 %.

Tabla 5. Coeficientes para regresión logística multinomial:

	Intercepto	Biomasa	Densidad
Alteración Baja	-3.918688	-12.576756	-0.0045619794
Alteración Media	2.334999	-5.587036	-0.0004263874

DISCUSIÓN

Según los resultados del ACP, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto, fueron las variables que explicaron la mayor variación espacial y temporal en el litoral del Lago. Estas variables se relacionan con el metabolismo del sistema y, por tanto, son un buen referente del estado o condición del mismo (Wetzel, 2001). El oxígeno disuelto es un sensor de tasas de productividad y de descomposición de materia orgánica. La conductividad eléctrica se puede asociar al estado trófico y además puede ayudar a detectar fuentes de polución (Esteves, 2011). Un criterio utilizado para realizar evaluación de la calidad ecológica de sistemas acuáticos son los índices que integran la información biológica y la información física y química, algunos de ellos enfatizan en algún grupo biológico (Pini-lla, 2010). Sin embargo, muchos de estos índices tienen aplicabilidad limitada, dadas las características locales, como es el caso del lago de Tota, incluido el patrón de variabilidad temporal, que no se consideran en este tipo de métricas.

De acuerdo con Wright *et al.* (1993), los modelos de indicación se basan en definir los parámetros adecuados, establecer las condiciones de referencia, incorporar la variabilidad espacial y temporal de la información y validar las categorías de calidad. Por esto, las estaciones con promedio de oxígeno disuelto y saturación baja, junto con valores de conductividad eléctrica elevada, corresponden con calidad ecológica baja, como el caso de Llano de Alarcón y Hato Laguna. Contrario a lo que sucede en el Túnel, La Custodia o Pispesca. La diferencia estadística estimada para la expresión, especialmente del oxígeno, por categoría de calidad, valida la asignación de las localidades a la categoría respectiva.

Rosenberg y Resh (1993), resaltan en los macroinvertebrados su alto potencial para realizar evaluación de la calidad de un ecosistema acuático.

En el caso de Tota, la mayor riqueza de especies de macroinvertebrados, se presentó en estaciones catalogadas como de calidad aceptable con excepción de Hato Laguna. Esto se explica porque la diversidad de una comunidad tiende a reducirse cuando hay factores perturbadores, lo que depende fundamentalmente de la naturaleza del disturbio, de la intensidad y del grado de predictibilidad. Por parte del organismo, del nivel de sen-

sibilidad, del tiempo y del tipo de respuesta (organísmica o poblacional) (Esteves, 2011), como *e.g.* el incremento del flujo de materia orgánica constante, podría estar sucediendo en Llano de Alarcón y Pispesca, donde la riqueza de macroinvertebrados fue baja.

La relación positiva entre la densidad de macroinvertebrados, respuesta de tipo poblacional y el deterioro de calidad, se relaciona con la oferta homogénea y renovada de un recurso (Margalef, 1977), que al ser abundante favorece el establecimiento de algunos grupos como quironómidos y anfípodos. Esta observación corresponde con la condición del litoral en el lago de Tota, especialmente la oferta de detritus proveniente de la descomposición de *Egeria densa*, por lo que el detritus puede considerarse como la principal fuente de recursos para estos organismos. Según Moore *et al.*, (2004), el detritus sería un factor determinante en la estructuración de comunidades en sistemas acuáticos.

El hábito detritívoro asociado a disponibilidad de materia orgánica en proceso de descomposición, estuvo representado por la mayor densidad y biomasa de quironómidos y anfípodos. Esto fue determinante para la evaluación de la calidad en las diferentes zonas. Así en estaciones como Piscicol y Llano de Alarcón la mayor densidad de estos organismos se asoció con la baja calidad. A partir de Cummins y Klug (1979), se indica la importancia de los hábitos alimenticios de los macroinvertebrados como un aspecto funcional fundamental en un sistema acuático, particularmente en ríos de cabecera. Sin embargo, esta idea se ha extendido de forma general a lagos (Schindler & Scheuerell, 2002).

El trabajar con la comunidad de macroinvertebrados asociados a *Egeria densa*, permitió realizar una valoración dada su intensa participación en el ciclaje de nutrientes y el flujo de energía con la función principal de descomponer la materia orgánica e incorporarla en el mismo nivel o en otro nivel trófico. Esto dependiendo básicamente de sus hábitos alimenticios (Esteves, 2011), como es el caso de los grupos funcionales con mayores densidades "detritívoros", el cual cumple la función de regular en parte e incorporar en su biomasa este exceso de materia orgánica que entra o que se produce en el sistema. No obstante, el segundo grupo, que fueron los depredadores, mantiene en parte reguladas a estas poblaciones, transfiriendo energía a un nivel superior, concordando nuevamente con las zonas que presentan mayores aportes, tanto en Lago Chico, Los Pozos, como en Lago grande Piscicol y Llano de Alarcón.

CONCLUSIONES

Con un ecosistema tan importante regionalmente como

el lago de Tota, perdiendo la calidad y a pesar del desconocimiento de la auto-ecología de muchas especies de macroinvertebrados del Neotrópico, se resalta la necesidad de abordar aspectos funcionales que sean claves para evidenciar mejor los efectos de la polución o de disturbios no naturales. Este trabajo aporta una herramienta específica para este sistema que permite a través

del monitoreo de las densidades de macroinvertebrados del litoral tener una alerta temprana de los cambios.

Es necesario establecer la fuente o fuentes de polución o de disturbio no natural y su magnitud, ya que están cambiando las condiciones del lago en general, sobrepasando la capacidad de autodepuración del mismo y amortiguamiento que cumple el litoral. 🌐

BIBLIOGRAFÍA

- BORROR, J. & WHITE, R. 1970. *Insects*. Peterson Field Guides, Houghton Mifflin Company, U.S.A.
- BRINKHURST, R. & MARCHESE, M. 1991. Guía para la identificación de oligoquetos acuáticos continentales de Sur y Centro América. Segunda edición, Colección Climax N° 6 Asociación Ciencias Naturales del Litoral. Santo Tomé Argentina.
- BRUSCA, R. & BRUSCA, G. 2003. *Invertebrates*, second edition, sinauer associates Inc., Publishers, Massachusetts. States United. 966pp.
- CAÑON, J. 2001. Balance Hidrológico del Lago Tota y Estudio Preliminar del Comportamiento Hidráulico en Lagos, Universidad Nacional de Colombia.
- CLIFFORD, H. 2003. "Aquatic Invertebrates of Alberta. Pictorial Key of Corixidae. University of Alberta, Department of Biological Sciences". Disponible en http://sunsite.ualberta.ca/Projects/Aquatic_Invertebrates/index.php?39p.
- CORDERO, R., RUIZ, J. & VARGAS, E. 2005. "Determinación espacio-temporal de la concentración de fósforo en el lago de Tota" *Revista Colombiana de Química*. Vol 34(2): 211-218.
- CUMMINS, K. & KLUG, M. 1979. Feeding ecology of stream invertebrates *Ann.Rev.Ecol.Syst* 10:147-172.
- DE LA FUENTE, J. 1994. *Zoología de Artrópodos*, Editorial Interamericana McGraw-Hill, Madrid, España. 950pp.
- DOMÍNGUEZ, E., MOLINERI, C., PESCADOR, M., HUWARD, M. & NIETO, C. 2006. *Ephemeroptera de América del sur. Diversidad Acuática en América Latina (ABLA) Vol. 2* Pensoft Sofia-Moscow, 646pp.
- ESTEVEZ, F.A. 2011. *Fundamentos de Limnología*. Tercera edición. Interciencia. Rio de Janeiro, Brasil. 826pp.
- FERNÁNDEZ, H. & DOMÍNGUEZ, E. 2001. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto de M. Lillo San Miguel de Tucuman, Argentina. .594pp
- GUISANDE, C., VAAMONDE, A. & BARREIRO, A. 2011. Tratamiento de datos con R, STATISTICA y SPSS. Ediciones Díaz de Santos. España. 978pp.
- HECKMAN, C. W. 2006. *Encyclopedia of South American Aquatic Insects: Odonata – Anisoptera. Illustrated Keys to Known Families, Genera, and Species in South America* Springer, Olympia, Washington. 687pp.
- HECKMAN, C. 2008. *Encyclopedia of South American Aquatic Insects: Odonata – Zygoptera. Illustrated Keys to Known Families, Genera, and Species in South America*. Springer, Dordrecht, The Netherlands. 725pp.
- JORGENSEN, S., LOFFLER, H., RAST, W. & STRASKRABA, M. 2005. *Lake and reservoir management*. Elsevier (Vol. 54). United States. 502pp.
- MOORE, J., BERLOW, E., COLEMAN, D., RUITER, P., DONG, Q., HASTINGS, A., COLLINS, N., McCANN, K., MELVILLE, K., MORIN, P., NADELHOFFER, K., ROSEMOND, A., POST, D., SABO, J., SCOW, K., VANNI, M. & WALL, D. 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity, *Ecology Letters*, 7: 584–600.
- MARGALEF, R. 1977. *Ecología*. Omega. España. 951pp.
- MCCAFFERTY, W. & PROVONSHA, A. 1981. *Aquatic Entomology, The fishermen's and Ecologists' Illustrated Guide to Insects and Their Relatives*. Science Books International, Boston, Massachusetts. United States. 320pp.
- MERRITT, J. & CUMMINS, K. 1979. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*, Kendall / Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, United States of America. 420pp.
- MILLIGAN, M. R. 1997. "Identification Manual for the Aquatic Oligochaeta of Florida", *Freshwater*, Volumen I, Oligochaetes. Department of Environmental Protection, State of Florida. Tallahassee, EE.UU. 187 pp.
- MONROY, D. 2002. "Variación espacio temporal de la biomasa de los crustáceos planctónicos del Lago de Tota (Boyacá-Colombia)". Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- MUÑOZ, M. & VÉLEZ, I. En imprenta, 2007. "Redescripción y algunos aspectos ecológicos de *Girardia tigrina*, *G. cameliae* y *G. paramensis* (Dugesidae, Tricladida) en Antioquia, Colombia". *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Vol. 78 (1). 291-301.
- NOVELO, R. 1997. "Clave para la Determinación de Familias y Géneros de las Náyades de Odonata de México, Parte II. Anisoptera". *Dugesiana* 4 (2): 31 –40.
- PENNAK, R. 1989. *Fresh – Water invertebrates of the United States. Protozoa to Mollusca*, Third Edition. A wiley – Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc. United States of America. 632pp.
- PINILLA, G. 2010. An index of limnological conditions for urban wetlands of Bogotá city, Colombia. *Ecological Indicators*, 10, 848-856.
- POSADA, J. & ROLDÁN, G. 2003. "Clave Ilustrada y Diversidad de las Larvas de Trichoptera en el Nor-occidente de Colombia". *Caldasia* 25 (1): 169-192.
- RAYMOND, P. 1990. *El lago de Tota ahogado en cebolla*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Colombia. 109pp.
- ROLDÁN, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas, CIEN, Antioquia, Colombia. 217pp.
- ROLDÁN, G. & RAMÍREZ, J. 2008. *Fundamentos de Limnología neotropical*. Medellín, Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. 442pp.
- ROSENBERG, D. & RESH, V. 1993. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. EDS., Chapman & Hall. New York. United States. 488pp.
- SCHINDLER, D. & SCHEUERELL, M. 2002. Habitat coupling in lake ecosystems. *OIKOS* 98: 177–189.
- SPRINGER, M. 2006. Clave Taxonómica para larvas de las familias del orden Trichoptera (Insecta) de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 54(suppl. 1): 273–286.
- TOMANOVA, S., GOITIA, E. & HELEŠIĆ, J. 2006. Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hidrobiología* 556: 251-264.
- TUNDISI, J. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 2011. Recursos Hídricos no século XXI. Ed. Prol Editora gráfica, Camara Brasileira do Livro, SP, Brasil.
- WETZEL, R. & LIKENS, G. 1991. *Limnological Analyses*. Springer – Verlag Second Edition. New Cork. United States of America. 429pp.
- WETZEL, R. 2001. *Limnology: Lake and river Ecosystems*. Third Edition. Academic Press. United States of America. 1006pp.
- WIGGINS, G. 1996. *Larvae of the North American Caddisfly Genera (Trichoptera)*, Segunda Edición. Universidad de Toronto Press, Canada. 504pp
- WRIGHT, J., FURSE, M. & ARMITAGE, P. 1993. RIVPACS – a technique for evaluating the biological quality of rivers in the U.K. *European Water Pollution Control*. 3(4): 15-25.
- ZAR, J. 2010. *Biostatistical Analysis*, fifth edition, New Jersey, United States of America: Pearson Prentice-Hall, 947pp.