



Comunidades de macroinvertebrados: bio-indicadores de la calidad del agua en el Territorio Indígena Rama-Kriol

*Macro invertebrate communities:
bio-indicators of water quality in the Rama – Creole Indigenous Territory*

Keren Oshin Matus-Román¹

Néstor González-Alemán²

Juan Asdrúbal Flores-Pacheco³

Resumen

Los macroinvertebrados son organismos que por su intolerancia a las perturbaciones en el ambiente pueden determinar la salud de los ecosistemas acuáticos a través de su diversidad y distribución de las familias presentes en sus hábitats. En este estudio se analizaron las condiciones actuales de la calidad del agua en las microcuencas Chacalín, Limonero y Moga, del Territorio Indígena Rama-Kriol por medio de la presencia y distribución de macroinvertebrados como bio-indicadores de estas, ya que actualmente se desconoce cuáles son las condiciones de sus principales afluentes dentro del territorio; con el uso del protocolo del Programa de Evaluación y Monitoreo de Ecosistema de la EPA de los Estados Unidos se establecieron 11 transeptos por cada sitio de los cuales la muestra de estos fue: 1-3, 5-7, 9-11. En esta investigación cuantitativa con enfoque descriptivo y corte transversal, la recolección se hizo con una red de mano en cada hábitat de los puntos establecidos; posteriormente se analizaron en el laboratorio del Centro de Investigación Acuática BICU, utilizando las guías taxonómicas para la clasificación e identificación de los organismos, con estos datos se determinó el IBMWP. Los resultados muestran que las microcuencas Chacalín y Moga tienen una calidad de agua regular con una contaminación poco alterada, mientras que la microcuenca Limonero a través del índice se determinó que la salud ecológica del agua está contaminada. Esto sugiere que las condiciones de dichos sitios han sido muy poco intervenidas y que existen las condiciones óptimas para el establecimiento de las familias de macroinvertebrados.

Palabras clave: Aguas de consumo; estado ecológico; salud ecológica; calidad ambiental; IBMWP-CR, entomología.

1 Licenciada en Biología Marina graduada en la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), email: matuso2oshin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7147-9942>

2 Máster en Investigación en conservación y uso sostenible de sistemas forestales por la Universidad de Valladolid, Docente Medio Tiempo Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales (BICU), email: gonzalezaleman@yahoo.es <https://orcid.org/0000-0002-5006-4964>

3 Doctor en Conservación y Uso Sostenible de Sistemas Forestales, Director de Investigación y Posgrado, Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), email: asdrubal.flores@do.bicu.edu.ni; <https://orcid.org/0000-0001-6553-7202>

Recibido: 17/07/2020 - Aprobado: 06/10/2020

Matus-Román, K., González-Alemán, N., & Flores-Pacheco, J. (2020). Comunidades de macroinvertebrados: bio-indicadores de la calidad del agua en el Territorio Indígena Rama-Kriol. *Ciencia E Interculturalidad*, 27(02), 129 - 146. <https://doi.org/10.5377/rci.v27i02.10438>

Abstract:

Macroinvertebrates are organisms that due to their intolerance to disturbances in the environment can determine the health of aquatic ecosystems through their diversity and distribution of families in their habitats. In this study, the current conditions of water quality in Chacalín, Limonero and Moga watersheds of the Rama-Creole Indigenous Territory were analyzed by means of the presence and distribution of macroinvertebrates as bio-indicators of these, since it is currently unknown which are the conditions of its main tributaries within the territory; With the use of the Ecosystem Evaluation and Monitoring Program protocol of the US EPA, 11 transects were established for each site, the sample of which was: 1-3, 5-7, 9-11. In this quantitative research with a descriptive and cross section approach, the collection was made with a hand net in each habitat of the established points; Later they were analyzed at BICU Aquatic Research Center Laboratory, using the taxonomic guides for the classification and identification of organisms, with these data the IBMWP was determined. The results show that the Chacalín and Moga watersheds have a regular water quality with little altered contamination, while the Limonero watershed, through the index, it was determined that the ecological health of the water is contaminated. This suggests that the conditions of these sites have been little affected and that there are optimal conditions for the establishment of macroinvertebrate families.

Keywords: Drinking water; Ecological Status; Ecological Health; Environmental Quality; IBMWP – CR; Entomology.

I. Introducción

El Territorio Indígena Rama-Kriol es de naturaleza rural, y la vasta mayoría de residentes dependen de actividades de subsistencia incluyendo la agricultura, la pesca, principalmente cerca de la costa, así como también tierra adentro en ríos y corrientes estacionales, la caza y la recolección. Las actividades de los colonos mestizos del territorio practican la agricultura y más intensamente la ganadería en una manera insostenible ejerciendo presión ecológica en los recursos naturales, principalmente en la disminución de áreas forestal cerca de los principales ríos de la zona y sus alrededores. Esto está alterando la biodiversidad de organismos acuáticos, en especial las comunidades de macroinvertebrados que indican la salud ecológica de dichos ecosistemas.

Los bioindicadores son especies o grupos taxonómicos capaces de reflejar el estado de conservación, diversidad, endemismo y el grado de intervención o perturbación en los ecosistemas naturales debido a su grado de tolerancia a las variaciones a su ecosistema óptimo para su desarrollo lo que determinara la presencia de estos organismos (Roldán, 2016). Es un hecho que la composición de las comunidades de macroinvertebrados refleja la calidad de los ecosistemas acuáticos (Ibíd). El uso de macroinvertebrados acuáticos constituye hoy en día una herramienta ideal para la

caracterización biológica e integral de la calidad de agua, siendo necesario para un adecuado control y conservación de un ecosistema (Jaramillo Lodoño, 2004).

Existen diferentes tipos de indicadores biológicos de ecosistemas fluviales, como microorganismos, macrófitas y peces. Sin embargo, uno de los grupos más ampliamente utilizados y establecido por la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE, DMA) como un tipo de bio-indicadores a utilizar son los macroinvertebrados acuáticos. Esto se debe a varias razones: 1) Su elevada diversidad; 2) Son relativamente fáciles de muestrear, 3) los diferentes taxones presentan requerimientos ecológicos diferentes; 4) Los protocolos de muestreo y elaboración de índices están estandarizados; y 5) Poseen un tiempo de vida relativamente largo, que permite integrar los efectos de la contaminación en el tiempo (Ladrera, 2012). Algunas de estas condiciones pueden ser relativas, pero a pesar de ello los macroinvertebrados son preferidos en muchos países para ser utilizados como bio-indicadores de la calidad del agua (Prat, Ríos, Acosta y Rieradevall, 2006).

En la Costa Caribe de Nicaragua, incluyendo el Territorio Indígena Rama Kriol se desconoce la salud ecológica de sus principales ecosistemas acuáticos, por lo que surgió el interés de realizar este estudio para analizar el estado de salud del agua en las microcuencas Chacalín, Limonero y Moga a través de la presencia, distribución y composición de las comunidades de macroinvertebrados durante la época seca del 2018, tomando en cuenta que la manera de vivir tradicional de la etnia Rama y Kriol ha mantenido un equilibrio entre las necesidades humanas y el ecosistema por lo que se deduce que en estas zonas exista una diversidad de organismos presentes. En el 2013 se concluyó un estudio donde se determinó la diversidad biológica de macroinvertebrados acuáticos asociada al estado de la vegetación en los márgenes de las microcuencas Walpa Tara, el Pool, Esconfran y Lunku Creek, específicamente: en las partes altas, medias y bajas de cada una de ellas (Soza y Ebank, 2013). La metodología empleada para la recolección de muestras fue directa con la ayuda de tamices, mayas de cedazo y pinzas. Para la identificación se utilizó las guías taxonómicas del BMWP^{CR/Col} (Biological Monitoring Working Party – Modificado para Costa Rica y Colombia) y las guías del CIRA-UNAN (Centro de Investigaciones de Recursos Acuáticos).

En la investigación macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua del trópico húmedo de las microcuencas de los alrededores de Bluefields, Nicaragua, se capturaron 48 familias, de los cuales 44 fueron encontradas en la época seca y 35 en la época lluviosa. En lo que refiere a la calidad de agua se determinaron 3 grupos; uno que reúne indicadores de buena calidad de agua, otro para organismos indicadores de media calidad y, por último, organismos indicadores de mala calidad. La calidad de las aguas de los sitios estudiados para la época seca se encontraron aguas desde limpias hasta contaminadas en algunos sitios, y para la época lluviosa se encontró aguas ligeramente contaminadas hasta muy contaminadas (González-Alemán, Mateo-Sánchez, & Mairena-Valdivia, 2013).

El Territorio Indígena Rama-Kriol tiene abundantes afluentes vitales a la ecológica, social y cultural porque, los asentamientos de pueblos indígenas y afrodescendiente viven cerca de estos ecosistemas para su vida y convivencia como es el caso del recurso agua que depende para usos agrícolas y una alta dependencia en la pesca de subsistencia y, por supuesto para consumo mismo; sin embargo, se desconoce el estado actual de la calidad del agua dentro del territorio y sus zonas aledañas, por toda la problemática ambiental principalmente la deforestación, destacando que las condiciones ambientales de las microcuencas en la parte alta influyen de manera positiva o negativamente en las partes baja de las cuencas, debido a que existe una vulnerabilidad que incrementa a la reducción de las condiciones ambientales en el reabastecimiento de los recursos hídricos para el consumo humano, la diversidad de especies y la conservación de los ecosistemas.

Por tal motivo la realización de este estudio contribuye a crear una herramienta que permite obtener nuevos conocimientos en cuanto a la diversidad, distribución y riqueza de las comunidades de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua por la necesidad de conocer cuáles son las condiciones actuales dentro de los principales afluentes del Territorio Indígena Rama-Kriol, para lo cual tener un mejor aprovechamiento y uso de estos cuerpos de agua para los comunitarios y público en general tomando en cuenta que, estos son utilizados para consumo, la pesca y sistemas agrícolas.

El objetivo de esta investigación es analizar las condiciones actuales de la calidad del agua en las microcuencas Chacalín, Limonero, Moga, del Territorio Indígena Rama-Kriol por medio de la presencia y distribución de macroinvertebrados como bio-indicadores de la calidad del agua.

II. Revisión de literatura

Los macroinvertebrados dulceacuícolas juegan papeles importantes dentro de básicamente todos los procesos ecológicos de los sistemas acuáticos. Energéticamente, las cadenas alimentarias acuáticas se basan en material autóctono producido por las algas o bien material alóctono que entra al sistema acuático desde afuera. Los macroinvertebrados son un enlace importante para poder mover esta energía a diversos niveles tróficos de las cadenas alimentarias acuáticas (Hanson et al., 2010). Controlan la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos. Ellos consumen gran cantidad de algas y otros microorganismos asociados con el perifiton en ríos o bien con el plancton en lagos. Muchas veces, este consumo aumenta la productividad primaria, ya que se elimina tejido poco productivo y se mineralizan los nutrientes (Hanson et al., 2010). La duración de la fase acuática de los macroinvertebrados es relativamente duradera (González, Gradín, García y Lanero, 2006), y que la composición faunística de la comunidad del macro bentos cambia en respuesta a los cambios ambientales, ya sean naturales (temperatura, altitud, etc.) o antrópicos (contaminación, estrés

hídrico, etc.), debido a los requerimientos específicos de cada una de las especies, estos se utilizan con frecuencia como indicadores de la calidad ecológica de los medios acuáticos (Sánchez, 2011).

III. Materiales y métodos

a. Localización de estudio

El área de estudio fue en el Territorio Indígena Rama-Kriol en sus principales afluentes Kukra River (Chacalín y Limonero) y Río Maíz (Moga). La microcuenca Chacalín está ubicada en las coordenadas geográficas N 11,79634-W 84,11238 dentro de la parte alta de la cuenca Kukra River (número 63) y la Reserva Natural Cerro Silva del Territorio Indígena Rama Kriol, en conjunto con la microcuenca Limonero la cual está ubicada en las coordenadas N 11,80070-W 84,10738. La microcuenca Moga se encuentra ubicada en la cuenca Río Maíz (número 67) en las coordenadas N 11,28114-W 84,00561; esta a su vez está ubicada en la parte norte de la Reserva Biológica Indio Maíz. La presente investigación es de carácter descriptivo con enfoque cuantitativo y de corte transversal, con un periodo de ejecución de desarrollo de marzo del 2018 a septiembre del 2019. Comunidad de macroinvertebrados presentes en las microcuencas Chacalín, Limonero y Moga del Territorio Indígena Rama-Kriol. La muestra es todos aquellos macroinvertebrados recolectados durante la fase de muestreos en cada uno de los transeptos definidos por microcuenca.

b. Selección del sitio

Según Montgomery y Buffington (1997) se seleccionaron arroyos de dos a diez metros de ancho y en la clase de gradiente de lecho plano o ribera de la piscina. Se anticiparon los flujos en esta categoría usando un mapa topográfico para estimar el gradiente y el tamaño de la cuenca hidrográfica, luego se verificó en el campo a través de la medición. La selección del sitio se determinó en el campo. El punto de partida para la selección del sitio fue de al menos 1,000 metros aguas arriba de la confluencia con el río más grande, y aguas arriba del primer hábitat de rápidos en cada arroyo. Los sitios se seleccionaron como un número aleatorio de pasos entre 100 y 1,000 aguas arriba del punto de inicio de la selección del sitio, se tomaron muestras de un alcance por flujo. Los arroyos muestreados estarán dentro en las cuencas hidrográficas del Río Kukra (Caño Chacalín y Limonero) y Río Maíz (Caño Moga). Esta selección de sitios tiene un rango de cubiertas forestales e impactos de deforestación.

i. Establecimiento del sitio de monitoreo

Se establecieron tres sitios adoptando el protocolo utilizado por el Programa de Evaluación y Monitoreo del Ecosistema de la EPA de los Estados Unidos, modificado para el presente estudio de biodiversidad y calidad de aguas de acuerdo con (Hughes

y Peck, 2008). La longitud de cada microcuenca dependió del área de muestro, que al menos debe ser de 150 metros (m). Para calcular el ancho mojado promedio se realizan ocho mediciones a una distancia de 10 m, y el resultado se multiplica por 40 veces, en aguas abajo del alcance de la muestra (Hughes y Peck, 2008). Para todos los parámetros del hábitat se tomaron muestras en cada uno de los transeptos y para el muestreo de macroinvertebrados se tomaron únicamente muestras de los transeptos del 1-3, 5-7, 9-11 (alto, medio y bajo). Para la muestra de macroinvertebrados se utilizó una red de mano consiste aproximadamente de un metro cuadrado, con una luz de malla de 500 μm , la red esta sujeta a dos soportes de madera (Samanez, Rimarachin, Palma, y Ortega, 2014). El área total muestreada para cada microcuenca fue de 15 m². En cada microcuenca se establecieron tres transeptos y en cada uno de ellos se obtuvieron cinco submuestras en los diferentes hábitats encontrados en cada uno de ellos, con una duración de 5-7 minutos en cada hábitat, haciendo la sumatoria de 30 minutos por cada transecto y una hora aproximadamente para recolectar los organismos que fueron colectados frascos de muestras de 120 ml con alcohol al 70%.

c. Parámetros fisicoquímicos

Se tomaron medidas fisicoquímicas a la temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$), la conductividad ($\mu\text{S}/\text{m}$) y el pH utilizando el medidor de pH / EC / TDS portátil a prueba de agua de Hannah Instruments (High Range) (Modelo HI991301). En los transeptos también se tomaron muestras de turbidez usando el tubo de transparencia / turbidez de 120 cm de Forestry Supplies medido en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) modelo 77096. Cuando el disco en la parte inferior del tubo se despeja y el tubo se llena con agua hasta la parte superior, la NTU se registra como <5 NTU (Mohammed, 2015).

d. Fase de laboratorio

El trabajo de laboratorio consistió en la identificación y conteo de los taxones (orden, familia y género) y número de individuos. Para ello se observaron las características morfológicas externas con la ayuda de una lupa binocular estereoscópica, siguiendo las guías de identificación realizadas por los investigadores expertos en este campo: Springer (2010), Dominguez y Fernández (2009) y Roldán (1988) para su identificación que permiten la identificación de los macroinvertebrados acuáticos, los datos se resumieron por alcance utilizando el Biological Monitoring Working Party (BMWP-CR).

e. Índice IBMWP-CR

El índice IBMWP/CR (Biological Monitoring Working Party) es la herramienta más extendida entre la comunidad científica y gestora para la evaluación de la calidad del agua y el estado ecológico de los ecosistemas tras la identificación de los macroinvertebrados (Springer, 2010). Según esta misma autora es un índice modificado para

Costa Rica que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a las distintas familias de macroinvertebrados encontradas, según su grado de sensibilidad a la contaminación. El puntaje se asigna una sola vez por familia, independientemente de la cantidad de individuos o géneros encontrados.

f. Análisis estadístico

La diversidad fue calculada mediante el índice de Shannon (H') con logaritmos neperianos (Magurran, 1989). Además, el índice de Equitatividad asociado a la diversidad de Shannon, mediante la expresión: $E=H'/\ln S$ (Magurran, 1989). Para la abundancia relativa se calculó el porcentaje de individuos de cada familia en relación con el total que conforman la comunidad. Se realizaron comparaciones de los tipos de hábitats presentes en la zona de estudio. La significancia estadística para dichos índices, se evaluó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Con la prueba de Chi cuadrado (X^2), para los cual se comprobó la distribución libre (no paramétrica) de los datos en el programa estadístico SPSS versión 25 (IBM® Statistical SPSS®, 2016), a posteriori se realizó comparaciones de Fisher (significación asintótica) que permitieron observar cuales grupos presentan diferencias significativas entre ellos.

IV. Resultados y discusión

a. Abundancia absoluta e identificación taxonómica de las comunidades de macroinvertebrados

De acuerdo con la identificación y clasificación de macroinvertebrados en el Laboratorio del Centro de Investigaciones Acuáticas de BICU (CIAB-BICU) se obtuvieron los siguientes datos: durante el período de estudio se registraron un total de 899 individuos, pertenecientes a 11 órdenes y 27 familias (Tabla 1).

Tabla 1: Clasificación taxonómica de las comunidades de macroinvertebrados en las microcuencas: Chacalín (CH), Limonero (LM) y Moga (CM).

Orden	Suborden	Familia	Género	Frecuencia			
				CH	LM	CM	Total
Coleóptera		Ptilodactylidae	NI	9	0	4	13
		Elmidae	NI	2	0	6	8
		Psephenidae	NI	0	2	9	11
		Dysticidae	NI	0	4	0	4
		Dryopidae	NI	17	0	0	17

RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

Orden	Suborden	Familia	Género	Frecuencia			
				CH	LM	CM	Total
Odonata	Zygoptera	Platysticidae	Palemnema	31	1	33	65
		Coenagrionidae	NI	18	9	7	34
			Acanthagrion	0	0	1	1
		Calopterygidae	Hetaerina	0	1	3	4
	Megapodagrionidae	Heteragrion	0	0	2	2	
	Anisoptera	Libellulidae	Libellulinae	3	5	5	13
Gomphidae		NI	2	1	13	16	
Trichoptera		Ecnomidae	Austrotinodes	4	0	0	4
		Hydropsychidae	Calosopsyche	0	0	12	12
			Leptonema	234	81	114	429
	Philopotamidae	NI	0	0	10	10	
	Hydrobiosidae	NI	1	0	0	1	
	Xiphocentronidae	NI	0	0	1	1	
Ephemeroptera		Leptohiphidae	NI	9	0	1	10
		Leptophlebiidae	Ulmeritoides	6	0	0	6
		Baetidae	Baetodes	31	29	7	67
			Farrodes sp	2	0	6	8
Hemiptera		Veliidae	NI	0	1	0	1
	Heteroptera	Naucoridae	NI	6	2	6	14
Díptera		Simulidae	NI	5	0	0	5
		Tipulidae	NI	0	0	3	3
Mollusca		Thiaridae	NI	5	1	0	6
Crustáceo		Palaemonidae	NI	0	0	36	36
Megaloptera		Corydalidae	NI	2	13	13	28
Plecoptera		Perlidae	NI	33	23	8	64
Organismos únicamente identificados a nivel de orden							
Collembola		NI	NI	0	0	3	3
Hemiptera		NI	NI	0	0	1	1
Diptera		NI	NI	0	0	1	1
Diptera		Larva de mosca	NI	0	0	1	1
Total, Identificados				420	173	306	899

NI: No se identificó

En la microcuenca Chacalín perteneciente a la Cuenca Kukra River, se registraron 420 individuos dentro de los tres tramos (alto, medio y bajo), pertenecientes a 10 órdenes, 18 familias y 7 géneros identificados del total de familias que se registraron para este sitio. El orden más abundante con 12.85% para esta microcuenca es Odonata con las familias Platysticidae del género *Palemnema*, Coenagrionidae, Libellulidae del género *Libellulinae*, y Gomphidae el cual reunieron un total de 54 individuos. Le sigue del orden Ephemeroptera con 11.42% con las familias Leptophebiidae del género *Ulmeritoides*, Baetidae del género *Baetodes*, Leptohiphidae con 26 individuos; no obstante, del orden Trichoptera de la familia Hydropsychidae del género *Leptonema* se presentó con el mayor número de individuos con un total por sitio de 234 equivalente al 55.71%. En cambio, para la microcuenca Limonero, se registraron 173 individuos pertenecientes en 8 órdenes, 3 sub órdenes, 14 familias, encontrándose 4 géneros para el total de las familias clasificadas. El orden más representativo fue Odonata con 5 familias que representan 9.82%: Platysticidae del género *Palemnema*, Coenagrionidae, Libellulidae del género *Libellulinae*, Gomphidae incluyendo la familia, incluyendo en este sitio, Calopterygidae del género *Hetaerina*, haciendo una sumatoria entre estas familias de 36 individuos entre ellas. Mientras que el orden Trichoptera de la familia Hydropsychidae del género *Leptonema* registro 81 individuos identificados entre los tres tramos siendo el 46.83% de la población. En el caño Moga, de la cuenca de Rio Maíz se identificaron 10 órdenes, 3 sub órdenes, 19 familias y 9 géneros con 306 individuos entre los tres tramos (alto, medio y bajo). Los órdenes más abundantes son Odonata con 20.91% pertenecientes a las familias Platysticidae del género *Palemnema*, Coenagrionidae incluyendo en este el género *Acantagrion*, Libellulidae del género *Libellulinae*, Megapodagrionidae del género *Heteragrion* y Gomphidae sumando un total de individuos de 64. Para el orden Trichoptera con 41.17% se encontraron las familias Hydropsychidae del género *Leptonema* sumando la mayor cantidad de individuos con 114 y Calopsyche con 12.

Para el total de los 27 taxones por los tres sitios la clase Insecta fue la más representativa compuestas por los órdenes: Odonata, Ephemeroptera, Trichoptera, Coleoptera, y Plecoptera. Los órdenes con mayor representatividad fueron Odonata y Ephemeroptera con 4 y 3 familias, respectivamente. El resto de los órdenes estuvieron representados por entre 1 y 3 familias. Para la microcuenca Chacalín se reportó la familia Hydrobiosidae del orden Trichoptera, mientras que para el Limonero la familia Veliidae del orden Hemiptera, y en la microcuenca Moga el orden Crustáceo con la familia Palaemonidae.

b. Abundancia relativa

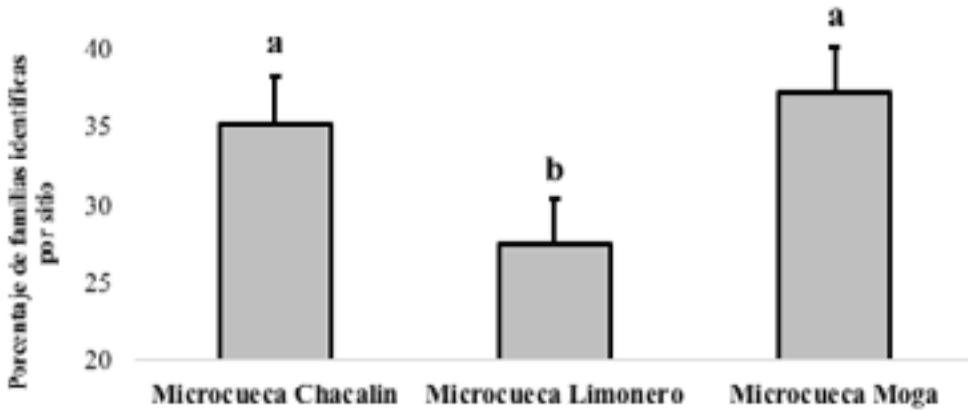


Figura 1: Distribución relativa (%) de cada sitio en relación con las condiciones ambientales (conservación, contaminación, actividades antrópicas y eventos extremos). Letras distintas (a-b) denotan diferencia estadísticamente significativa al 95% de confiabilidad.

Las microcuencas Chacalín (35.29%) y Moga (37.25%) no presentan diferencia estadística entre ellos (X^2 : 32.05; gl: 2; P : 0.005), ya que ambos sitios presentan condiciones ecológicas y de conservación similar entre ellas. No así la microcuenca Limonero (27.45%) que si es distinta a las dos primeras (X^2 : 21.08; gl: 2; P : 0.002), pues este sitio está altamente intervenido y degradado por actividades antrópicas que bajan la calidad del agua y las condiciones para el establecimiento de hábitats para macroinvertebrados. Sin embargo, estos datos no concuerdan con los resultados expuestos en la tabla 2 de este estudio, se presume que esto se debe a la pérdida de gran cantidad de especímenes capturados en este sitio. Esta pérdida se debió a la manipulación inadecuada (ayudante de campo), material vegetal y animal dentro de la muestra que se descompuso dañando el contenido del envase, exceso de tiempo almacenado sin cambio del líquido para su conservación. De acuerdo Hanson et al. (2010), la distribución de las comunidades de macroinvertebrados está directamente relacionado con la conservación del sitio ya que consta que existen una diversidad de amenazas para los macroinvertebrados acuáticos, las más importantes están relacionadas con la contaminación del cuerpo de agua, la pérdida y alteración de hábitat y la introducción de especies exóticas. Por lo que quiere decir que los hábitats de mayor estabilidad y en mejor estado de salud ambiental son los que mayor cantidad y diversidad de familias, géneros y especies de este tipo albergan, por ello son utilizados para medir la calidad del agua.

c. Calidad de agua de las microcuencas a través del IBMWP-CR

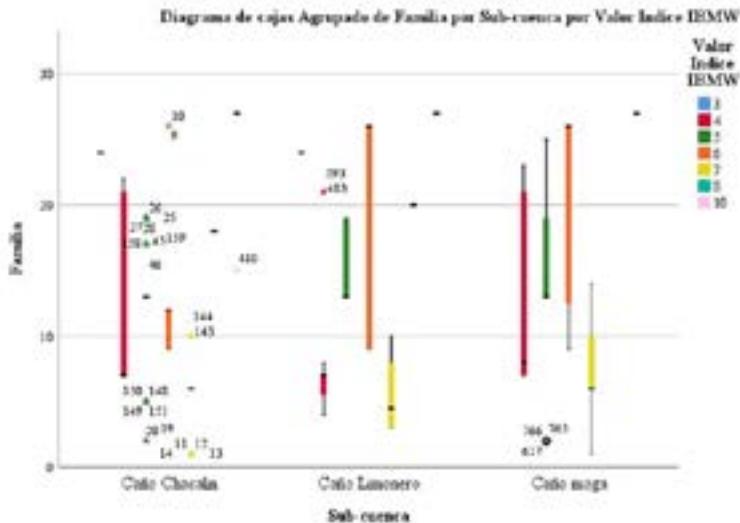


Figura 2: Estado de salud de las microcuencas Caño Chacalín, Limonero y Moga basado en el índice IBMWP-CR y la distribución de las familias de macroinvertebrados.

Los resultados del índice IBMWP-CR para la microcuenca Chacalín, muestran en la ribera un valor máximo de 87 y mínimo de 75, con promedio de 79.33. De acuerdo con los valores del índice IBMWP-CR estos resultados indican que la microcuenca Chacalín presenta un curso de agua y estado ecológico con aguas de calidad buena según (González-Alemán, Sánchez-Mateo, y Mairena-Valdivia, 2013), con leves signos de contaminación o alteración. Esto se debe que aun en el sitio existen condiciones factibles para la conservación de comunidades de macroinvertebrados en los ecosistemas acuáticos y sus hábitats. Mientras que para el índice IBMWP-CR de la microcuenca Limonero, muestran en el río un valor máximo de 61 y mínimo de 27, con promedio de 42. De acuerdo con los valores del índice IBMWP-CR estos resultados indican que la microcuenca el Limonero presenta un curso de agua y estado ecológico de calidad mala o contaminadas, según Springer (2010). Sin embargo, hay que destacar que las muestras de este sitio el 60% estaban desintegradas, y muchos organismos mutilados, por lo tanto, se hizo difícil la identificación y clasificación de todos los organismos, este factor puede inferir en los resultados IBMWP para analizar la salud de este ecosistema y su biodiversidad en las comunidades de macroinvertebrados.

Los resultados para el sitio Moga muestran en esté, un valor máximo de 98 y mínimo de 39, con promedio de 78. De acuerdo con los valores del índice IBMWP-CR estos resultados nos indican que la microcuenca presenta un curso de agua y estado ecológico muy bueno, con leves signos de contaminación o alteración. Se presentó con dominio para los sitios la familia Hydropsychidae seguido por Plastystictidae, Baetidae,

Perlidae, y Palaemonidae, todos estos organismos son indicadores de aguas poco contaminadas a muy limpias por su intolerancia a los niveles bajos de oxígeno disuelto y a las altas concentraciones de nutrientes según Mosquera et al. (2008). Otros autores también confirman que los taxas identificados como por ejemplo el total de familias de Ephemeropteros, Plecopteros o Trichopteros se caracterizan por ser intolerantes a la contaminación por lo que su número global disminuye con el aumento de esta, aunque no todos los taxas responden de igual manera (Prat et al., 2006).

La salud ecológica y biológica de las microcuencas Chacalín y Limonero están expuestas, en un rango de tiempo variable en relación con la intensidad de las actividades desarrolladas, en su cercanía a ser afectadas. Donde las prácticas realizadas que no son manejadas adecuadamente como lo hacen los pueblos indígenas que tienen una armonía con el medio ambiente, esto puede conllevar a perturbaciones que disminuyan la biodiversidad de organismos presentes, en este caso las comunidades de macroinvertebrados que viven en un tipo concreto de hábitat, como pueden ser pozas, rápidos, sombras, grandes bloques, raíces de árboles, plantas acuáticas, llanuras de inundación, piedras, madera, por ello, cualquier tipo de alteración que provoque una homogenización del cauce y la eliminación de muchos de estos hábitats provocará en último término una disminución de la diversidad de macroinvertebrados y el consiguiente empobrecimiento del ecosistema (Ladrera, 2012). La deforestación y el posterior cambio en el uso de la tierra pueden causar una variedad de impactos diferentes a corriente de biota y hábitat, dependiendo de su extensión, tiempo, tipo de uso de la tierra y condiciones naturales (Allan, 2004). En el territorio Rama-Kriol y las reservas del sudeste Nicaragua los impactos de la deforestación en los arroyos son distintos, sin embargo, hay pocos estudios del impacto de la deforestación y las actividades agropecuarias es el principal uso posterior de la tierra, que juegan un papel importante en la estructuración de los hábitats de los ecosistemas acuáticos.

d. Índice de Biodiversidad de Shannon y Equitatividad

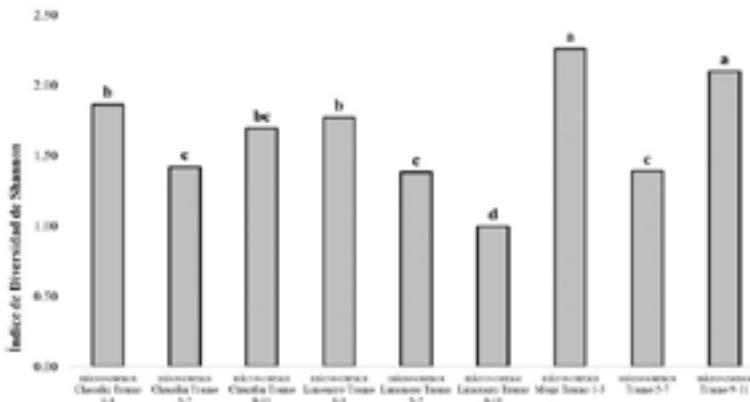


Figura : Índice de biodiversidad de Shannon. Letras distintas (a-d) indican diferencia estadística al 95% de confiabilidad con la prueba de Chi-cuadrado.

Los tramos 1-3 (bajo) y del 9-11 (alto) del caño Moga registro un índice de biodiversidad según Shannon de 2.25 y 2.10 respectivamente, presentando diferencia estadística (X^2 : 25.33, gl: 8, P :0.001) respecto a los demás puntos de muestreo. Esto se debe o sugiere que las condiciones de los hábitats para este sitio que favorecen los requerimientos de algunas familias de macroinvertebrados de acuerdo con la salud del ecosistema como por ejemplo las familias del orden Odonata. Este orden es considerado un agente útil en el monitoreo ambiental, debido principalmente a que muchas especies muestran respuestas específicas a alteraciones ambientales, diversas especies del orden Odonata son particularmente vulnerables a las perturbaciones antropogénicas, especialmente aquellas que afectan la vegetación riparia (Calderon Y Rodriguez, 2016); sin embargo, los individuos del orden Trichoptera constituye un importante componente de las comunidades bénticas y base de la cadena trófica de los ecosistemas acuáticos, según (Custodio Y Chaname, 2016) quienes señalan que los Trichopteros son indicadores de aguas limpias y su abundancia aumenta con el aumento de la altitud. Teniendo en cuenta que esta microcuenca ha sido muy poco intervenida por actividades antropogénicas es por eso que se encuentra con muy buenas condiciones por lo que aporta a la conservación biológica de este sitio.

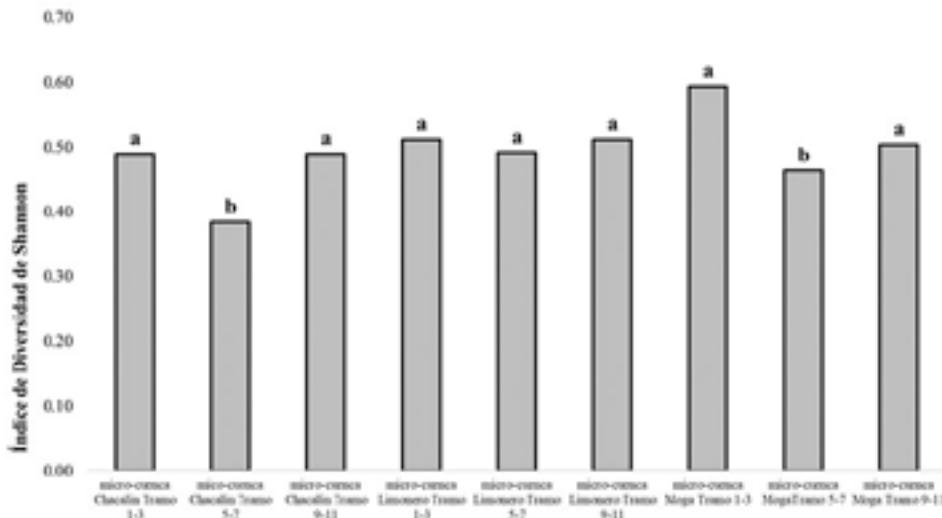


Figura 4: Índice de Equitatividad. Letras distintas (a-b) se leen como diferencia estadística al 95% de confiabilidad con la prueba de Chi-cuadrado.

Según el Índice de Equitatividad se encontraron diferencia estadística en el tramo 5-7 (medio) de la microcuenca Chacalín y de la microcuenca Moga, esto podría referirse que poseen condiciones de calidad igualmente similares o que los hábitats de estas microcuencas cumplen con ciertos parámetros requeridos para las comunidades de macroinvertebrados lo cierto es que la estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados no sólo varían a causa de la afectación ejercida por los impactos de origen antrópico, sino que, además, también muestran amplias variaciones

espaciales y temporales como consecuencia de la variabilidad natural que presentan las condiciones ambientales en los ecosistemas fluviales, según (Cabria, 2009; Reynoldson y Wright, 2000) para solventar el problema que genera la variabilidad espacial de las comunidades de macroinvertebrados es esencial realizar una clasificación adecuada de los ecosistemas fluviales. Mediante esta clasificación se obtienen agrupaciones, denominadas clases o tipologías, dentro de las cuales se puede asumir que las comunidades de macroinvertebrados muestran una estructura y composición similar.

Las comunidades de macroinvertebrados muestran amplias variaciones temporales en relación con los diversos factores ambientales que caracterizan una determinada cuenca o masa de agua. Dentro de estos cambios se pueden diferenciar dinámicas intra-anales (estacionales) e inter-anales. Las primeras suelen seguir patrones cíclicos y direccionales, los cuales son relativamente predecibles, ya que están principalmente determinados por la variación estacional que sigue el clima. Sin embargo, las segundas son menos predecibles debido a que suelen derivar de fenómenos generados a una escala mayor, los cuales no siguen un patrón cíclico tan definido. La variación temporal de las comunidades de macroinvertebrados puede interferir en el proceso de evaluación del estado ecológico de las masas de agua (Cabria, 2009).

Tabla 2: Tabla de correlación de Pearson entre las variables de Familia, Microcuenca, tramo y orden con respecto al Índice BMWP.

Correlaciones				
	Subcuenca	Tramo	Orden	Valor Índice IBMWP
Familia	0.038	-0.084*	0.932**	0.309**
Microcuenca		0.178**	0.061	0.011
Tramo			-0.063	-0.047
Orden				0.524**
*. La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral).				
**. La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).				

Existe relación positiva intensa entre la variable familia y el IBMWP con un valor de correlación de (R^2 : 0.309, P-valor: 0.001), demostrando la relación y aplicabilidad de las comunidades de macroinvertebrados con el índice empleado. Sin embargo, la metodología de la segmentación de la microcuenca en tramos indica que es levemente inversa a la distribución de familias (R^2 : -0.084, P-valor: 0.05), esto se debe a que la probabilidad de seleccionar solo tres transeptos de toda la ribera no es tan representativa como muestrear todos los transeptos del sitio para las comunidades de macroinvertebrados.

Tabla 3: Correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas, con respecto al Índice BMWP. Letras distintas (a-b) se leen como diferencia estadística al 95% de confiabilidad basado en la prueba de Chi-cuadrado.

Parámetro Físicoquímico	Chacalín	Limonero	Moga
pH	7.19 a	7.14 a	6.71 b
Conductividad	77 a	60 c	70 b
TSS	39 a	30 b	35 a
Temperatura (° C)	26 a	27.5 a	25.6 a
Turbidez	25 a	0 b	0 b
IBMWP	5.58 a	5.73 a	5.6 a

Existe una relación positiva entre el índice IBMWP con respecto a los parámetros de TSS con un valor 30 mg/l y Turbidez o UTM en la microcuenca Limonero, demostrando la dependencia de la comunidad de macroinvertebrados a condiciones fisicoquímicas óptimas, Mientras que para la micra cuenca Moga existe una relación estrechamente positiva entre el pH con un valor de 6.71 y la conductividad 70 con el índice en la correlación, lo que determina que los parámetros fisicoquímicos del agua están determinados por factores ambientales que influyen de manera directa en la diversidad de las comunidades de los macroinvertebrados (Gil Gómez, 2014).

En algunos sitios donde la turbidez es alta y por consiguiente los sólidos presentan valores elevados, lo que podría deberse a la alta cobertura de vegetación acuática. Esto a su vez ocasiona mayores aportes y descomposición de materia orgánica; la turbulencia también provoca la resuspensión de sedimentos, lo cual incrementa la presencia de partículas en la columna de agua (Usme, 2011), este mismo autor dice que se ha demostrado que este parámetro está directamente relacionado con la dinámica de las corrientes en los cuerpos de agua.

V. Conclusiones

La abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados se presentó con mayor predominancia en la microcuenca Moga con un 37.25%, seguido de la microcuenca Chacalín con 35% y Limonero con 27.45%. La familia más representativa fue *Hydropsychidae* de los *Trichópteros* en todos los sitios muestreados y seguida de la familia Baetidae del orden Ephemeroptera. En las microcuencas la diversidad su variante está comprendida de la siguiente forma: microcuenca Chacalín las familias Perlidae y Platysticidae; Limonero, Baetidae y Perlidae; caño Moga las familias Palaemonidae y Platysticidae. Los resultados obtenidos en cuanto a la equitatividad están comprendidos entre las microcuencas Chacalín y Moga en el transecto 5-7, lo que determina que los hábitats de estos sitios son similares entre sí para el establecimiento de las comunidades de macroinvertebrados.

Los valores del índice IBMW-CR más elevados se presentaron en los caños Chacalín (79.33 %) y Moga (78%) donde se destacó la presencia de las familias de los órdenes Odonata, Ephemeroptera, Trichóptera y Plecoptera, siendo estos bioindicadores de la buena calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos y sus hábitats. De acuerdo con los valores del índice y los resultados de los sitios se establece que la calidad del agua adecuada de las microcuencas Chacalín y Moga presentan un estado ecológico de calidad buena, con una contaminación moderada, mientras que para la microcuenca Limonero se establece un estado ecológico de calidad mala siendo indicativo de contaminación. La calidad del agua afecta directamente la diversidad y abundancia de macroinvertebrados en los sitios de estudio. Por este motivo, se presentó mayor cantidad de individuos y diversidad de familias en las microcuencas Chacalín y Moga en comparación con Limonero de acuerdo con el índice de diversidad de Shannon, donde en la microcuenca Chacalín en el tramo bajo tuvo el punto más alto de diversidad (1.86) y, Moga en el tramo alto (2.25), respectivamente. La distribución espacial y la equitatividad de las familias identificadas se ven afectadas directamente por las condiciones fisicoquímicas de los sitios, destacan: los parámetros de TSS, la Conductividad y el pH en las microcuencas Limonero y Moga que favorecen o limitan en diferentes grados y formas la composición y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados.

Agradecimiento

A Joel Betts del departamento de Pesca y Vida Silvestre de la Universidad de Michigan State, becario del programa Fullbright por su apoyo en la ejecución de la fase de campo y asesoría.

Esta publicación obtuvo el financiamiento de: El Fondo de Asistencia Internacional de los Estudiantes y Académicos Noruegos (SAIH).

VI. Lista de referencia

- Allan, J. D. (2004). Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(257–284).
- Cabria, M. Á. (2009). *Estudio de la variabilidad espaciotemporal de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los ecosistemas fluviales de Cantabria. Repercusiones para la aplicación de la directiva marco del agua.*
- Calderon, C. C., y Rodriguez, M. C. (2016). Odonatos como bioindicadores de la calidad de agua en Surutato, Sinaloa. *Bol. Soc Mex* (n. s), 1–5.
- Custodio, M., y Chaname, F. (2016). *Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales.* *Junín-Perú Analysis*, 7(1), 33–44. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.01.04>

- Dominguez, E., y Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, <https://doi.org/978-950-668-015-2>
- González, M. A. G., Gradín, F. C., García, M. J. S., y Lanero, R. V. (2006). *Macroinvertebrados de las aguas dulces de Galicia*. Hércules de Ediciones.
- González-Alemán, N., Sánchez-Mateo, S., y Mairena-Valdivia, A. (2013). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua del trópico húmedo de las microcuencas de los alrededores de Bluefields, Nicaragua. *WANI*, 68, 53–63.
- Hanson, P., Springer, M., y Ramírez, A. (2010). Introducción a los grupos de *Macroinvertebrados Acuáticos*. (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hughes, R. M., y Peck, D. V. (2008). Acquiring data for large aquatic resource surveys: the art of compromise among science, logistics, and reality. *Journal of the North American Benthological Society*, 27(4), 837–859.
- IBM® Statistical SPSS®. (2016). IBM® SPSS® 23.0. Recuperado de <http://www.spss.com/>
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). (2015). *Los Ecosistemas de Nicaragua y su Estrategia*.
- Jaramillo, J. C. (2004). Importancia de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. *Cultura Científica*, (2), 92–98.
- Ladrera, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de información ambiental*, (39), 24-29.
- Magurran, A. E. (1989). *Diversidad ecológica y su medición* (No. 574.5 M32Y).
- Merritt, R. W., y Cummins, K. W. (1996). *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall Hunt. Kendall Hunt.
- Mohammed, S. S. (2015). *Effect of pH on the Turbidity Removal of Wastewater*. *OALib*, 02(12), 1–9. <https://doi.org/10.4236/oalib.1102283>
- Montgomery, D. R., y Buffington, J. M. (1997). Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Bulletin of the Geological Society of America*, 109(5), 596–611. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109)

- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., y Rieradevall, M. (2006). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos*. <https://doi.org/10.3390/w1010003>
- Reynoldson, T. B., y Wright, J. F. (2000). The reference condition: problems and solutions: Freshwater *Biological Association* (FBA).
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Universidad de Antioquia, Fondo FEN, Medellín.
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Samanez, I., Rimarachin, V., Palma, C., y Ortega, H. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Centro de Documentación Ambiental.
- Sánchez, J. (2011). *Características biológicas y ecológicas de los macroinvertebrados en un sector del hiporitrón en el río Tormes (España Central)*. *Zoológica Baetica*, 22, 51–67. <https://doi.org/ISSN:1130-4251> (2011).
- Soza, A., y Ebank, E. (2013). *Bioindicadores de la calidad de agua de las microcuencas (walpa tara, el pool, lunku creek y esconfran), en la ciudad de Bluefields durante la época seca y lluviosa del 2011*. Bluefields Indian & Caribbean University (BICU).
- Springer, M. (2010). *Biomonitoreo acuático*. Escuela de Biología & Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), 58, 53–59.