

IDENTIFICACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS DEL HUMEDAL EL RESBALÓN Y SU RELACIÓN CON LOS PARÁMETROS DE DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS

Katherine Carrillo Florián¹, Ana María Cerón Alarcón¹, Ellen Dallan Chávez Alarcón¹ Ángela María Jaramillo Londoño².

1. Auxiliar de Investigación, Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Ambiental. Bogotá, Colombia; katherinecarrillo@usantotomas.edu.co, anaceron@usantotomas.edu.co, ellenchavez@usantotomas.edu.co
2. Bióloga Marina Ph.D, Docente Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Ambiental. Bogotá, Colombia: angelajaramillo@usantotomas.edu.co

Abstract: Identification of the community of macroinvertebrates in El Resbalon wetland and its relation with the parameters of determination of water quality for ecosystem conservation. El Resbalon wetland, is located in Cota, Cundinamarca (Colombia), belongs to the sub-basin of the river Chicú, with great importance due to the variety of ecosystem services and environmental functions. Now it is submitted to diverse environmental tensors, among them, the arrival of domestic waste waters (from houses and schools), agricultural and cattle ranchers. In the present study, was analyzed the variation in the space and in the time of the body of water given the relationship existing between the aquatic macroinvertebrates and the environmental variables. Three monitorings were performed (dry, transition, and rain). Five stations strategically distributed were studied, physicochemical variables were recorded, were the methods associated with the calculation of primary productivity and held the collection of aquatic macroinvertebrates. Indexes applicable to benthic macroinvertebrates and water quality were calculated, primary productivity was determined in order to recognize the trophic status of the wetland and the quality of the water body. An Analysis of Canonical Correspondence (ACC) has been done, most productive and used method in the history of multivariate analysis in ecology, environmental factors and aquatic macroinvertebrates. The ACC, showed temporal and space variation of the wetland during dry season (July 2016), transition (August) and rain (October), identifying high correlations between nutrients and presence of families and at the same time low incidence of pH and temperature in terms of aquatic macroinvertebrates. The study indicates that a relationship is presented between variable biotic and abiotic that contribute to the determination of the state of the water quality, concluding that starting from the analysis of the indexes calculated the wetland is in an intermediate state of pollution, which indicates that its potential use is directed to the preservation of flora and fauna. Based on that, the wetland must be taken into account in programmes of conservation and restoration of wetlands that have been implemented in other bodies of water by the Regional Autonomous Corporation.

Key words: wetland, water quality, aquatic macroinvertebrates, environmental variables, primary productivity.

Los humedales son ecosistemas que comprenden diversos ambientes y que ofrecen variedad de servicios ecosistémicos, entre los que se encuentran la recarga y descarga de acuíferos, regulación hídrica de cuencas hidrográficas, retención de sedimentos y nutrientes, hábitat para la vida silvestre, recursos agrícolas y forestales, diversidad biológica, mitigación de impactos por inundaciones y absorción de contaminantes (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010). En Colombia, la extensión de los humedales en 1992 abarcaba 2.649.312 ha, 26.422.367 ha en 1997 y 20.252.500 ha en 1998, hoy se contempla una extensión de 30.781.149 ha, que se encargan de proveer múltiples beneficios relacionados con bienes y servicios para el desarrollo de actividades económicas en comunidades locales (Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humbolt, 2016). El ecosistema objeto del presente estudio es el Humedal El Resbalón (municipio de Cota), el cual se encuentra sometido a diversos tensores ambientales que perturban sus procesos ecológicos esenciales y la prestación de sus servicios ambientales; dentro de ellos principalmente se evidencia la llegada de vertimientos domésticos (viviendas y colegios), agrícolas y ganaderos que se encuentran ubicados en un sector del territorio que hace parte del humedal (Sánchez, 2011). Por interés de la facultad de ingeniería ambiental de determinar la calidad del agua del humedal El Resbalón, se propuso la investigación del proyecto denominado “Identificación de los servicios ecosistémicos limnológicos del humedal el Resbalón como estrategia de conservación”, con ayuda del fondo de investigación de la Universidad Santo Tomás (FODEIN), el cual se desarrolla en diferentes temáticas, siendo la presente una de ellas, con el objetivo de aportar

información veraz que contribuya a establecer las condiciones en las que se encuentra dicho cuerpo de agua, sirviendo como base para la toma de decisiones para la gestión, conservación y uso sostenible del humedal. El proyecto de investigación tuvo una duración aproximada de un año, y se realizó mediante el desarrollo de las siguientes etapas: estudios preliminares, visitas de campo, formulación de un plan integral de trabajo, muestreos de campo y redacción y análisis de la información obtenida, para posteriormente publicar los resultados. En el presente estudio se evaluó la calidad del agua a través de la determinación y el análisis de parámetros físico-químicos relacionados con la conservación de humedales, los cuales se utilizaron como herramienta para calcular índices de calidad del agua. Así mismo, se estimó la productividad primaria del ecosistema obtenida a partir de diferentes métodos para establecer el grado de eutrofización del humedal y relacionarlo con la calidad del agua, determinada por el estado de las variables ambientales. Finalmente, teniendo en cuenta que la diversidad de macroinvertebrados es uno de los principales indicadores del estado de un humedal (Sharma & Rawat, 2009), se analizó la presencia, composición y abundancia, así como la relación de la variación espacial y temporal de la comunidad de macroinvertebrados con respecto a los parámetros de determinación de calidad del agua del Humedal El Resbalón, lo cual sirve de base para conocer el estado del mismo y la determinación de la calidad del agua, sentando así los soportes científicos que aportan herramientas para la toma de decisiones por parte de la alcaldía municipal de Cota.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El Humedal El Resbalón, ubicado en la vereda Parcelas del municipio de Cota, Cundinamarca (Colombia), pertenece a la subcuenca del río Chicú, se encuentra ubicado aproximadamente a un kilómetro (1Km) de la vía principal que de Bogotá conduce al municipio de Cota (Alcaldía de Cota, Cundinamarca, 2015). Su espejo de agua principal, se encuentra a una altitud promedio de 2566 msnm entre las coordenadas 4°4'28"-4°46'24"N y 74°8'11"-74°8'12"W. Actualmente, el área superficial del espejo de agua consta de 2500m² y su perímetro es de 247m. El clima es de sabana fría debido a su altitud, generalmente está entre los 5 y los 14°C, con una temperatura promedio de 13,5°C. Cuenta con dos temporadas lluviosas que se presentan entre abril y mayo y entre septiembre y diciembre, alcanzando los 110 mm/mes (Alcaldía de Cota, 2016). Para el estudio en cuestión se eligieron cinco estaciones de muestreo con el propósito de cubrir las zonas características tanto físicas como bióticas (relacionadas con la vegetación): la estación 1 (4°46'27.47"N-74°8'10.34"W) con presencia de dos fuentes de vertimientos provenientes de hogares aledaños y la estación 3 (4°46'27.87"N-74°8'10.88"W) asociada a gran cantidad de residuos sólidos arrojados allí por la comunidad, mientras que las estaciones 2 (4°46'26.50"N-74° 8'10.75"W), 4 (4°46'26.10"N-74°8'12.34"W) y 5 (4°46'24.49"N-74° 8'11.96"W) se encuentran estratégicamente distribuidas dentro del espejo de agua principal, abarcando las zonas que presentan mayor vegetación. Se realizaron tres muestreos teniendo en cuenta el periodo de estiaje en julio de 2016, septiembre como temporada de transición y octubre como época de lluvias.

Parámetros para determinación de la calidad del agua:

En cada estación y época de estudio se determinaron y analizaron los principales parámetros de calidad del agua relacionados con la conservación de flora y fauna in situ: pH (Un), temperatura (°C), conductividad (mS/cm), con una sonda multiparamétrica HANNA HI 9829. Estas mediciones se realizaron a 50cm de profundidad. A su vez, en cada estación de muestreo se tomaron muestras de agua de 1000ml por duplicado, las cuales se transportaron al laboratorio para su posterior análisis en condiciones de refrigeración. Dichas muestras, se analizaron mediante las técnicas APHA (2005) para la determinación de nitrógeno total (NTmgL-1), nitritos (NO₂mgL-1), nitratos(NO₃mgL-1) nitrógeno amoniacal (NH₃mgL-1), fosfatos (PO₄mgL-1) y fósforo total (PTmgL-1), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅mgL-1) y Demanda Química de Oxígeno (DQOmgL-1). También se realizó el cálculo del índice de calidad del agua de British Columbia (BCWQI), el cual se fundamenta en tres factores que están involucrados en la medición de los logros de los objetivos de calidad en donde: Factor F1: Alcance, es el número de objetivos que no se alcanzaron; Factor F2, Frecuencia a la cual los objetivos no se alcanzaron y Factor F3, Cantidad de veces por la cual los objetivos no se alcanzaron. Dichos objetivos están basados en criterios de calidad de agua y tienen en cuenta su calidad natural, así como las cargas residuales a las que pueden ser expuestas (Fernández Parada & Solano Ortega, 2005). Para el cálculo de dichos índices, se tienen en cuenta parámetros como nitrógeno total (NTmgL-1), nitritos (NO₂mgL-1), nitratos(NO₃mgL-1) nitrógeno amoniacal (NH₃mgL-1), fósforo total (PTmgL-1), pH (un), DBO (mg/l), OD (mg/l), temperatura (°C) y

conductividad, basados en los valores máximos permitidos dirigidos a la conservación de flora y fauna que establece la normatividad colombiana (Decreto 1076, 2015, art 2.2.3.3.2.3) y algunas normas internacionales. El cálculo del BCWQI, se realizó para cada una de las estaciones y en cada uno de los muestreos, para poder determinar el comportamiento de la calidad del agua en su distribución espacial y temporal. Así mismo, se realizó el cálculo de los Índices de Contaminación-ICOS: ICOpH (índice de contaminación por pH) e ICOTro (índice de contaminación trófico), a través del software ICATest v1.0 a partir de la metodología colombiana desarrollada por Ramírez, en su libro Índices de calidad y contaminación del agua, capítulo III, los cuales se calculan sobre la base en los valores de pH por estación y muestreo y los valores de concentración de Fósforo Total en mg/l, respectivamente (Fernández Parada & Solano Ortega, 2005).

Productividad primaria: En cada estación de muestreo se realizó la recolección y análisis de muestras para la determinación de la productividad primaria, a partir de tres métodos en las cinco estaciones. Para definir el estado trófico del humedal se utilizaron tres alternativas las cuales se explican a continuación.

- **Método Botella Clara y Oscura:** Basado en la determinación de cambios en la concentración de oxígeno disuelto en muestras de agua naturales almacenadas en botellas de cristal. El análisis de las muestras se realizó a partir de la metodología utilizada por James E. Brower y Jerrold H. Zar en su libro *Field and Laboratory Methods For General Ecology*, cuarta parte denominada, Actividad Microbiana: Productividad

Primaria en Hábitats Acuáticos (Brower & Zar, 1997).

- **Método Winkler:** basado en la adición de solución de manganeso divalente, seguido de álcali fuerte, a la muestra contenida en un frasco con tapón de vidrio de cierre hidráulico. El Oxígeno Disuelto oxida rápidamente una cantidad equivalente del precipitado disperso de hidróxido manganeso divalente a hidróxidos con mayor estado de valencia (Amortegui Celis & Lozano Beltrán, 2015). El método utilizado para la determinación de productividad primaria se realizó a partir de la determinación de oxígeno disuelto por el método yodométrico utilizado por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2004).
- **Método de Clorofila *a*:** El método de clorofila *a* estima la concentración de clorofila, variable a partir de la cual se determina el estado trófico de los ecosistemas. Por medio de éste método se analiza la concentración de clorofila *a*, la capacidad de captura de carbono del fitoplancton y el estado trófico del ecosistema. La metodología utilizada para la determinación de clorofila *a*, por medio del método espectrofotométrico se realizó con base en la propuesta de Ramón Valera, en el Método 13 denominado, determinación de clorofila *a* Y Feopigmentos (Astor, Lorenzoni, & Scranton, 2011).

A partir, de la determinación y análisis de la variación del oxígeno disuelto en el humedal, se logró identificar el nivel trófico del cuerpo de agua, por medio de los siguientes indicadores:

- **Indicador de estatus nutricional:** Esta clasificación es válida para

cuerpos de agua autotróficos (cuadro 1), aquellos donde la materia orgánica producida proviene mayormente de la actividad fotosintética y no de materia orgánica importada.

CUADRO 1

Estatus nutricional y productividad primaria de cuerpos de agua autotróficos

TABLE 1

Nutritional status and primary productivity of autotrophic water bodies

Estatus Nutricional	Productividad (mg m-3)
Oligotrófico	7 – 25
Mesotróficos	25 -75
Eutrófico	75-250
Contaminado	250-700

Fuente: Manual de ecología microbiana (Fuentes & Massol-Deyá, 1996).

- **Índice del Estado Trófico:** Carlson propuso este índice, el cual varía entre 0 y 100 (cuadro 2), de Oligotrófico a Hipertrófico y se obtiene a partir de parámetros medidos en campo (Clorofila *a*). A partir de la siguiente ecuación se establecieron las concentraciones y a su vez, se calculó el estado trófico del humedal (Moreno Franco, Quintero Manzano, & López Cuevas, 2010).

Ecuación 1. Cálculo de índice del estado trófico

$$TSI_{Chla} = 10 * \left(\frac{\ln Chla}{\ln 2.5} \right)$$

Dónde:

TSI: Índice del Estado Trófico

Chla: Clorofila *a*

Ln: Logaritmo natural

CUADRO 2

Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua

TABLE 2

Scale of values of the trophic state in the water bodies

Estado Trófico	TSI	Chla(mg m-3)
Oligotrófico	0	0.40
(TSI <30)	10	0.12
	20	0.34
	30	0.94
Mesotrófico	40	2.6
(30 < TSI < 60)	50	6.4
	60	20
Eutrófico	70	56
(60 < TSI < 90)	80	156
	90	427
Hipertrófico	100	1183
(90 < TSI <100)		

Fuente: Modificado de Carlson (1977; 1980) (Fuentes & Massol-Deyá, 1996).

Macroinvertebrados acuáticos: En cada estación y muestreo se recolectaron macroinvertebrados con una red tipo D-net, con abertura de malla de 500µm. Las muestras colectadas constaron de material abiótico como sedimentos, ramas, raíces y rocas sumergidas, los cuales son conocidos como los principales hábitats de los macroinvertebrados. Estos ejemplares fueron fijados en etanol al 70% para su preservación y posterior transporte al laboratorio, donde se llevó a cabo la separación e identificación de los macroinvertebrados bentónicos y se realizó la determinación taxonómica hasta el nivel de familia a partir de claves especializadas (Silva, Vásquez Navas, &

Martínez, 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012; Roldán Pérez, 2003) utilizando un microscopio estereoscópico KONUS Biorex-2. La riqueza de taxones se obtuvo a partir del conteo de familias por estación y época, se realizó una curva de acumulación de especies basada en el número de muestras versus el número acumulativo de familias de todo el periodo de estudio mediante el uso del software EstimateS 9 (Álvarez, Córdoba, & Escobar, 2006). Posteriormente, se calcularon los índices biológicos IBMWP/Col. (Iberian Biomonitoring Working Party), ASPT (Average Score per Taxon) y ETP (Ephemeroptera, Trichoptera and Plecoptera). Del mismo modo, se realizó el cálculo de los índices de diversidad de Shannon y Simpson utilizando el Software PAST; los cuales permiten, respectivamente, calcular la diversidad de familias a partir de la medición de la heterogeneidad de la comunidad, teniendo en cuenta la proporción de individuos y el número de familias muestreadas (Magurran, 2004) y medir la diversidad mediante la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma familia (Figuerola Pianda, 2014). Se analizó la relación de las familias de macroinvertebrados con las variables ambientales a partir de un análisis de correspondencias canónicas (ACC) (González, Déjean, Martin, & Baccini, 2008). Se emplearon dos bases de datos: 1) de los muestreos, estaciones de muestreo y familias de macroinvertebrados y 2) de los muestreos, estaciones de muestreo y los parámetros de determinación de la calidad del agua. El ACC generó dos gráficos en los que es posible evidenciar A) las variables ambientales y las familias de macroinvertebrados y B) la distribución de muestreos y estaciones de muestreo con

respecto a la gráfica A. Estos análisis se realizaron en el software RStudio.

RESULTADOS

Parámetros para determinación de la calidad del agua.

Índices de calidad y contaminación del agua.

- **Índices ICA BC:** Como resultado de la aplicación del índice BC, tanto por estación como por época de muestreo, y a partir de lo establecido por el método fue posible determinar que el agua del humedal presenta un nivel de calidad aceptable tal como se evidencia en los cuadros 3 y 4, haciendo referencia a un nivel en el que muchos de los usos presentan deterioro, alejándose las condiciones muchas veces de las naturales o de los niveles deseables, en el que usos individuales o particulares se pueden ver temporalmente interrumpidos (Fernández Parada & Solano Ortega, 2005).

CUADRO 3

Índice BC, por estación de muestreo

Estación	Índice BC	Rango
1	45.863	Aceptable
2	45.591	Aceptable
3	45.576	Aceptable
4	45.770	Aceptable
5	45.813	Aceptable
Promedio	45.723	

Fuente: autores

Evaluando el comportamiento de la calidad del agua por muestreo, se evidencia que la menor calidad se da en el muestreo 1, que representa la época de estiaje y en la que las condiciones climáticas son más abruptas en cuanto al

aumento de temperaturas. Así mismo, los mejores niveles de calidad se presentaron en el muestreo 3 (cuadro 4), debido a que fue una época caracterizada por altas precipitaciones. La estación que a través de los tres muestreos presentó la menor calidad es la estación 1, lo que indica que su contaminación es mayor teniendo concordancia con las condiciones que allí se presentan tal como vertimiento interrumpido de aguas residuales domésticas.

CUADRO 4
Índice BC, por época de muestreo

TABLE 4
BC index, by sampling time

	Índice BC	Rango
M1	34.841	Aceptable
M2	31.428	Aceptable
M3	21.875	Aceptable
Promedio	29.381	

Fuente: autores

- **Índice de contaminación por pH:** En cuanto a los índices de contaminación aplicados, se determina que no existe

contaminación por pH, ya que sus valores en todas las estaciones fluctúan entre (5.9-7.95 un) como se evidencia en el cuadro 5, por lo tanto, se encuentran entre los rangos establecidos por la norma para preservación de flora y fauna. Analizando el comportamiento por estación y muestreo, se identifica que en el muestro 1 estación 3, existen los niveles más altos para el ICOpH, aunque de igual forma no representa contaminación por parte del pH, para el cuerpo de agua.

- **Índice de contaminación por Trofia- ICOTRO:** La evaluación realizada al índice ICOTRO, que se basa en la concentración de fósforo total por muestreos y estación, dio como resultado final un estado eutrófico del humedal, , teniendo en cuenta que se clasifica como eutrófico un cuerpo de agua que contenga una concentración de fósforo de 0.02 a 1 mg/l, lo que indica la alta presencia de nutrientes en todo el cuerpo de agua, que contribuye a la proliferación de algas impidiendo la óptima oxigenación del mismo.

CUADRO 5
Valores del índice de contaminación ICOpH

TABLE 5
ICOpH index contamination values

	M1			M2			M3		
	pH (un)	ICOpH	Rango contaminación	pH (un)	ICOpH	Rango contaminación	pH (un)	ICOpH	Rango contaminación
E1	7.11	0.001	Ninguno	6.8	0.002	Ninguno	7.3	0.003	Ninguno
E2	7.53	0.006	Ninguno	6.9	0.001	Ninguno	6.8	0.002	Ninguno
E3	5.98	0.032	Ninguno	7.3	0.003	Ninguno	6.5	0.005	Ninguno
E4	7.30	0.003	Ninguno	7.4	0.004	Ninguno	7.5	0.005	Ninguno
E5	7.65	0.008	Ninguno	7.9	0.025	Ninguno	7.5	0.005	Ninguno

Fuente: autores

Se evidencia que en el muestreo 2, la estación 1 presentó los más altos niveles de fósforo, y su comportamiento es similar en los demás muestreos, esto debido a que es la zona en donde se realizan vertimientos de aguas residuales, produciendo daños directos a la calidad del agua del humedal. Dados dichos resultados, se determina que la calidad del agua para la preservación de flora y fauna teniendo en cuenta tanto el

índice BC, como los ICOpH e ICOTRO es aceptable, pero se pueden ver interrumpidos los procesos metabólicos del ecosistema acuático por llegar a ser un área tan expuesta a la contaminación, además los resultados obtenidos de ser un cuerpo de agua eutrófico, permiten establecer que es ecosistema vulnerable a la contaminación.

CUADRO 6
Resultados Índice ICOTRO

TABLE 6
ICOTRO Index Results

	M1			M2			M3		
	Fósforo Total(mg/l)	ICOTRO	Estado	Fósforo Total(mg/l)	ICOTRO	Estado	Fósforo Total(mg/l)	ICOTRO	Estado
E1	0.2	Baja	Eutrófico	0.58	Media	Eutrófico	0.44	Media	Eutrófico
E2	0.2	Baja	Eutrófico	0.23	Baja	Eutrófico	0.31	Baja	Eutrófico
E3	0.2	Baja	Eutrófico	0.2	Baja	Eutrófico	0.2	Baja	Eutrófico
E4	0.26	Baja	Eutrófico	0.25	Baja	Eutrófico	0.23	Baja	Eutrófico
E5	0.29	Baja	Eutrófico	0.2	Baja	Eutrófico	0.26	Baja	Eutrófico

Fuente: autores

Productividad primaria

A partir de la toma de muestras y análisis de las mismas, tanto en campo como en laboratorio, se calcularon los valores necesarios para la determinación de la productividad primaria (Cuadro 7). Teniendo en cuenta el indicador de estatus nutricional para los cuerpos de agua autótrofos descrito por la metodología utilizada para el análisis de la productividad primaria, calculando los valores de ésta en cada muestreo y por medio de los rangos sugeridos, el humedal presentó un estado mesotrófico. Adicionalmente, se analiza que hay presencia de biomasa producida por los organismos foto y quimiosintéticos que constantemente están metabolizando y que entre otras acciones desoxigenan el agua, generando malos olores.

Clorofila a: Con los datos obtenidos expuestos en el cuadro 8, se logró calcular y determinar el estado trófico del Humedal El Resbalón.

En cuanto a la determinación del estado trófico del humedal por medio del método de la Clorofila *a*, y teniendo en cuenta el Índice de Estado Trófico anteriormente descrito, se establecieron las concentraciones del cuerpo de agua y se determinó el estado de cada muestreo realizado, como se presenta en el cuadro 9.

CUADRO 7
Determinación de Productividad Primaria

TABLE 7
Determination of Primary Productivity

	M1		M2		M3	
	Productividad	PP Muestreo	Productividad	PP Muestreo	Productividad	PP Muestreo
E1	69.442		69.943		69.943	
E2	52.873		33.879		65.292	
E3	68.531	65.534	72.879	61.987	67.399	55.195
E4	68.937		66.879		37.386	
E5	67.916		66.354		35.957	

CUADRO 8
Determinación de Clorofila *a*

TABLE 8
Determination of Chlorophyll *a*

	M1		M2		M3	
	Clorofila <i>a</i> (mg m-3h)	Clorofila <i>a</i> Muestreo (mg m-3h)	Clorofila <i>a</i> (mg m-3h)	Clorofila <i>a</i> Muestreo (mg m-3h)	Clorofila <i>a</i> (mg m-3h)	Clorofila <i>a</i> Muestreo (mg m-3h)
E1	34.742		35.002		36.825	
E2	27.19		33.232		25.887	
E3	25.523	29.502	36.564	31.627	21.2	27.502
E4	34.481		33.439		35.576	
E5	25.574		19.898		18.022	

CUADRO 9
Estado Trófico del humedal

TABLE 9
Wetland Trophic State

Muestreo	Clorofila <i>a</i>	TSI
1	29.502	36.936
2	31.627	37.696
3	27.502	36.17

Fuente: autores

A partir de los rangos propuestos por Carlson y analizando los valores obtenidos, el cuerpo de agua presenta un estado mesotrófico ya que el TSI se encuentra en un rango entre 30 y 60, relacionado directamente con la actividad fotosintética realizada por las macrófitas, es decir con la producción de biomasa y oxígeno proporcionada al humedal. Se encontró la relación entre los datos obtenidos con el método de la productividad primaria y el método de la Clorofila *a*, ya que por los dos métodos se determinó que el humedal presenta un estado mesotrófico, es decir presenta niveles medios de nutrientes, las aguas son claras, y por lo tanto la luz solar penetra fácilmente el cuerpo de agua, se genera un alto nivel de oxigenación y se presenta el crecimiento de las algas.

Macroinvertebrados acuáticos

Análisis de identificación, composición y abundancia de macroinvertebrados:

A partir de la identificación de los taxones se determinó la composición y abundancia de familias de macroinvertebrados. Se recolectaron 31 familias pertenecientes a 19 órdenes, 7 clases y 4 phylum, para un total de 1281 individuos.

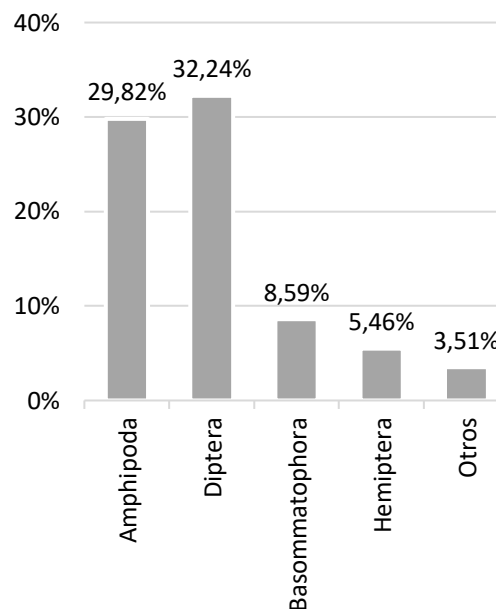
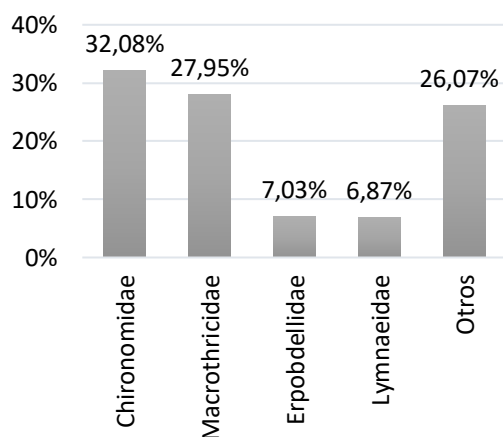


Fig. 1. (A) Abundancia de órdenes y (B) Abundancia de familias

El orden con mayor abundancia en la mayoría de los muestreos fue el orden Díptera, con un 32% de presencia sobre el total de los órdenes, representado por las familias Chironomidae y Syrphidae; ésta primera con una abundancia correspondiente al 32% del total de la población muestreada, equivalente a 411 individuos, como se puede evidenciar en la Fig.1, seguido por la familia Macrothricidae, que a pesar de no encontrarse presente en todas las estaciones muestreadas, aporta de manera significativa a la cantidad de individuos muestreados, siendo una de las familias con mayor abundancia en el humedal (358 individuos).

Curva de acumulación de familias: Se graficó la curva de acumulación de familias de macroinvertebrados en el software EstimateS 9 con el fin de corroborar que el número de muestras tomadas fuera representativo, además de rectificar el número de muestreos a realizar.

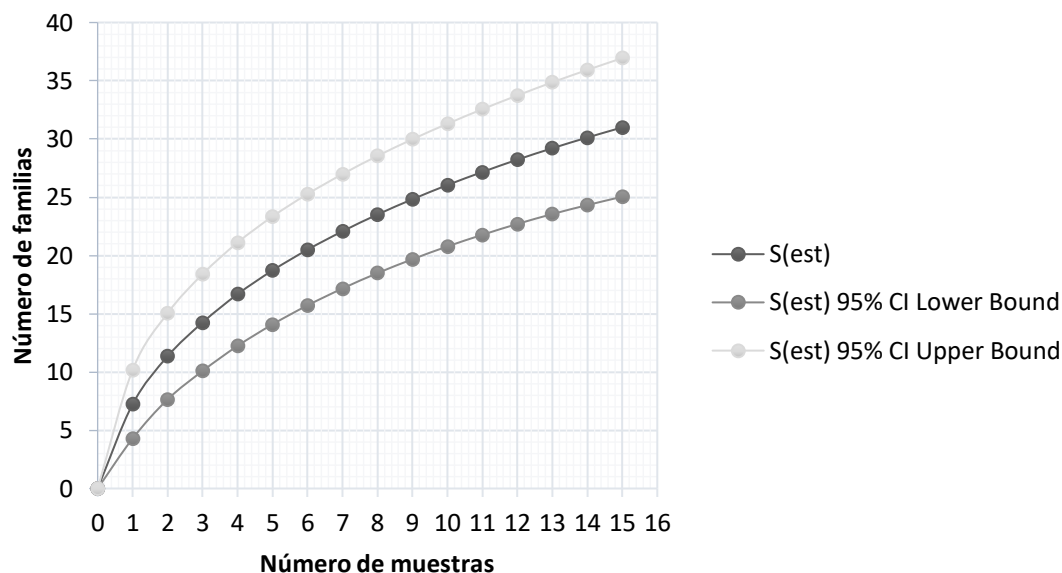


Fig. 2. Curva de acumulación de familias
Fig. 2. Families accumulation curve

La curva de acumulación de familias que se graficó con los valores de todos los muestreos, como se observa en la Fig.2, presenta 31 familias muestreadas, las cuales se encuentran dentro del intervalo de confianza, entre el límite superior de 36 familias y el inferior de 25 familias, lo que indica que se dio un buen muestreo, obteniendo un número de muestras cercano al esperado que calcula el software a partir de diferentes estimadores.

Índices de diversidad de Shannon y Simpson: El análisis espacio-temporal de diversidad de macroinvertebrados tiene como fin identificar el periodo con mayor diversidad de familias y encontrar diferencias significativas en la composición de la comunidad de macroinvertebrados por estación de muestreo. Los resultados de los cálculos relacionados a los índices de Shannon y Simpson fueron calculados en el software Past y se presentan en el cuadro 10, allí se pueden observar los valores obtenidos por estación y por temporada de muestreo.

CUADRO 10
 Resultados índices Shannon y Simpson

TABLE 10
 Shannon and Simpson index results

Según estación	E1	E2	E3	E4	E5
Simpson	0.56	0.70	0.23	0.57	0.64
Shannon	1.20	1.55	0.49	1.25	1.31

Según muestreo	M1	M2	M3
Simpson	0.53	0.62	0.47
Shannon	1.20	1.33	0.96

Fuente: autores

Estos resultados evidencian la baja diversidad de familias presentes en el humedal, teniendo en cuenta que para el índice de Simpson, los valores que se encuentren dentro del rango de 0-0.5 caracterizan “Muy baja diversidad o muy alta dominancia” y los que se encuentran en el rango $> 0.5 - 0.7$ indican “baja

diversidad o alta dominancia” (Moreno, 2001). Del mismo modo, el índice de Shannon caracteriza como “muy baja diversidad” a los ecosistemas cuyo valor sea ≤ 1 y “baja diversidad” a los que se encuentran en el rango de $> 1 - 1.8$ (Moreno, 2001).

Índices biológicos

- **Índice BMWP/Col.:** Los índices BMWP/Col calculados para las cinco estaciones arrojaron un puntaje de mala calidad del agua en todos los muestreos. En el cuadro 11 se muestra

el resumen de los valores del índice y su correspondiente clasificación. A nivel general, el índice ratifica las condiciones en las que se encuentran los micro hábitats presentes en el humedal, determinando que la calidad del agua es crítica, dado que ninguna de las estaciones de muestreo indica calidad aceptable, por el contrario, durante el periodo de muestreo en algunas de las estaciones empeoró la calidad del agua.

CUADRO 11
Valores índices BMWP/Col.

TABLE 11
Values BMWP / Col. Index

	Puntaje	M1 Calidad	Puntaje	M2 Calidad	Puntaje	M3 Calidad
E1	34	Aguas muy contaminadas	30	Aguas muy contaminadas	11	Aguas fuertemente contaminadas
E2	38	Aguas contaminadas	39	Aguas contaminadas	39	Aguas contaminadas
E3	20	Aguas muy contaminadas	8	Aguas fuertemente contaminadas	10	Aguas fuertemente contaminadas
E4	33	Aguas muy contaminadas	22	Aguas muy contaminadas	29	Aguas muy contaminadas
E5	13	Aguas fuertemente contaminadas	26	Aguas muy contaminadas	30	Aguas muy contaminadas
Índice muestreo	27,6	Aguas muy contaminadas	25	Aguas muy contaminadas	23.8	Aguas muy contaminadas

Fuente: autores

- **Índice ETP:** En el cuadro 12 se muestran los resultados obtenidos en el cálculo del índice ETP. Como se observa, a nivel general el índice ETP ostenta mala calidad del agua en el humedal.

CUADRO 12
Valores índice ETP

TABLE 12
ETP index values

	M1		M2		M3	
	Puntaje	Calidad	Puntaje	Calidad	Puntaje	Calidad
E1	0.00%	Mala	0.81%	Mala	0%	Mala
E2	1.52%	Mala	0%	Mala	47.62%	Mala
E3	0.00%	Mala	0%	Mala	0%	Mala
E4	0.00%	Mala	0%	Mala	0%	Mala
E5	3.7%	Mala	2.17%	Mala	3.03%	Mala
Índice muestreo	1.04%	Mala	0.60%	Mala	10.13%	Mala

Fuente: autores

Lo anterior, teniendo en cuenta que en la mayoría de los muestreos no se encontraron individuos pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecóptera. A pesar de que en algunas estaciones de muestreo se obtuvo mayor cantidad de taxones pertenecientes a los órdenes anteriormente mencionados, no fueron los suficientes para que el valor del

índice clasificara el agua dentro de un mejor rango. Teniendo en cuenta que los órdenes que trabaja el índice son indicadores de buena calidad de agua debido a su alta sensibilidad a la contaminación, los bajos niveles que se obtuvo durante su cálculo se deben, evidentemente, a la ausencia de los mismos.

CUADRO 13
Valores índice ASPT

TABLE 13
ASPT index values

	M1		M2		M3	
	Puntaje	Calidad	Puntaje	Calidad	Puntaje	Calidad
E1	4.3	Moderada	3.8	Moderada	2.8	Contaminada
E2	4.8	Buena	4.3	Moderada	4.3	Moderada
E3	3.3	Contaminada	2.7	Contaminada	5	Buena
E4	3.7	Moderada	3.7	Moderada	4.1	Moderada
E5	3.3	Contaminada	3.7	Moderada	5	Buena
Índice muestreo	3.88	Moderada	3.64	Moderada	4.24	Moderada

Fuente: autores

- **Índice ASPT:** El índice ASPT ha sido para este caso, más flexible al clasificar la calidad del agua del humedal, dado que, a nivel general, según este índice, el agua se encuentra moderadamente contaminada, a diferencia del índice IBMWP, a pesar de depender de sus valores. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 13.

Relación entre familias y características del hábitat:

Para determinar las relaciones existentes entre familias de macroinvertebrados y las variables ambientales del ecosistema se llevó a cabo un ACC (Fig.3). En este análisis se evidencia que los muestreos 1 y 2 se encuentran ubicados en el cuadrante I, zona que se caracteriza por contar con altos valores de OD, nutrientes (fosfatos, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, fósforo total) y el 93.5% de las familias de macroinvertebrados dentro de las cuales se destacan Erpobdellidae, Lumbriculidae, Gammaridae y Notonectidae. Por otro lado, en el cuadrante III se presentan los valores más altos de parámetros como DBO, pH y temperatura, los cuales se relacionan con la presencia de las familias Hydroptilidae y Ancyliidae. Adicional, es posible observar que, en su mayoría, las variables se encuentran direccionadas sobre el mismo eje (eje Y), lo cual indica que estas cuentan con un comportamiento similar a lo largo del estudio. Por último, en el cuadrante IV se encuentran las variables de DQO y Nitrógeno Total, con presencia dominante de las familias Ephemeridae, Lymnaeidae, Helophoridae, Propopistomadae y Haplotaxidae. En cuanto a la distribución espacial y temporal de las variables, se observa que el periodo de estiaje (julio 2016) y parte de los muestreos del periodo de transición (septiembre 2016) se encuentran ubicados en el cuadrante con relación a presencia de

nutrientes asociados a altos niveles de OD (18 – 6.1 mg/L) y de fosfatos (0.2-0.82 mg/L), mientras que el periodo de altas precipitaciones (octubre 2016) se caracteriza por presentar los mayores niveles de DQO (23-187 mg/L).

DISCUSIÓN

La comunidad de macroinvertebrados es uno de los grupos mayormente utilizados para evaluar la calidad e integridad de los sistemas acuáticos ya que representan un papel ecológico de gran importancia en cuanto a procesos fundamentales tales como la biodegradación de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes (Estrada Carvajal, 2009). Además, son organismos sedentarios que reaccionan de forma inmediata y predecible ante los impactos en los ecosistemas acuáticos (Rosenberg & Resh, 1993), se encuentran invariablemente en un ecosistema de características definidas y su población es similar a la de los demás organismos con quienes comparte su hábitat (Roldán Pérez, 1999), de forma que su variación y diversidad tiempo-espacio es directamente proporcional a la concentración de nutrientes y productividad del ecosistema (Latha & Thanga, 2010). Para determinar la calidad del recurso mediante este tipo de bioindicadores, es necesario conocer la estructura de su comunidad y su dinámica poblacional, así como sus límites de tolerancia frente a diferentes perturbaciones en su medio (Alba Tercedor, 1996). A partir de lo anterior, se determina que el Humedal El Resbalón presenta dos épocas con una clara estacionalidad: época de estiaje y época de lluvias, lo cual es evidente en la distribución de las estaciones por periodo de muestreo y en la distribución de abundancia de familias, a partir del ACC, teniendo en cuenta, principalmente, que el número de individuos es

considerablemente más alto en la época de estiaje. En el cuadrante I se observa dicha temporada, caracterizada por altos niveles de OD, nutrientes y fosfatos, estos últimos en gran proporción generan la producción de algas, lo cual da lugar a la eutrofización, aspecto que ocasiona cambios en la presencia de OD (Pütz, 2010). A partir de lo anterior, se justifica la presencia de las familias Chironomidae, Erpobdellidae, Syrphidae, Mesoveliidae y Dendrocoelidae principalmente, ya que

entre sus principales características, se encuentra que son de alimentación detritívora, es decir su alimentación es en mayor parte materia orgánica en descomposición, además, habitan en fango, el cual es contenedor de altos niveles de materia orgánica, nitrógeno y fosfatos y por último, contribuyen a la desintegración y al reciclado de los nutrientes (Reinoso Flórez, Gutierrez, & López, 2008).

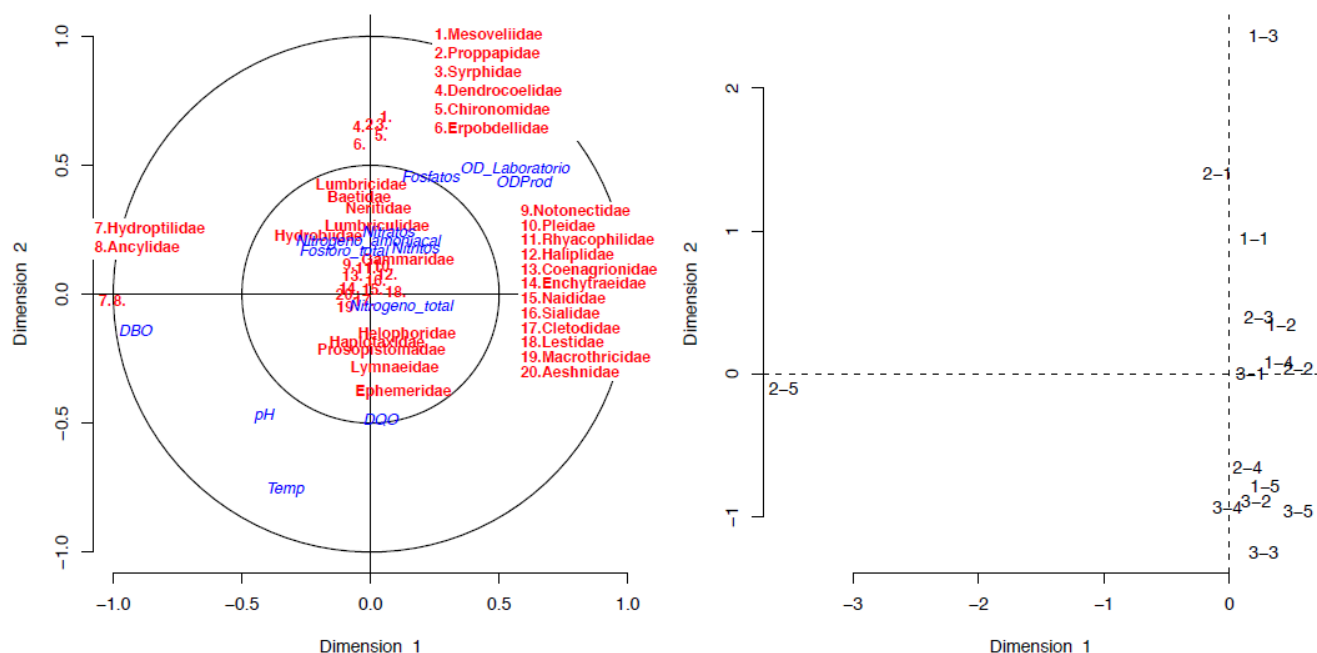


Fig. 3. Representaciones en el plano definido por las variables canónicas: variables ambientales y familias (izquierda) y muestreo y estaciones (derecha)

Fig. 3. Representations in the plane defined by the canonical variants: environmental variables and families (left) and sampling and stations (right)

Cabe resaltar que en la estación 1 para esta misma época, se evidencian los más altos niveles de nutrientes (NH₃-N: 3mg/L, NO₂-N: 0.004 mg/L, NO₃-N: 4.7 mg/L, PO₄: 0.82 mg/L) a causa del punto de descarga de aguas residuales que allí se encuentra, aspecto que está relacionado con la presencia de las familias Notonectidae, Coenagrionidae, Lestidae,

Aeshnidae, Rhyacophilidae, entre otras, las cuales, dados los aspectos ecológicos que las definen, son muy tolerantes a las variaciones en los factores que se dan en el medio (García, Sánchez, & Marín, 2001). Así mismo, en las estaciones 2 y 3 se presentan altos niveles de contaminación por actividades antrópicas, lo que infiere en el aumento en los niveles de los

nutrientes anteriormente descritos. En la época de lluvias se presentan los más altos niveles de DQO, indicador de materia orgánica total, relacionado con la recepción de aguas residuales domésticas, aspecto que fue evidenciado durante el trabajo en campo y la toma de muestras en la zona. Lo anterior, vincula la presencia de ciertas familias bajo estos parámetros de cantidad de materia orgánica total, entre ellas, Haplotaxidae, Helophoridae, Prosopistomadae, Ephemeridae, Lymnaeidae. Estas son familias detritívoras, lo que justifica la relación expuesta en el gráfico realizado a partir del análisis estadístico. El comportamiento observado para esta misma temporada en la estación 5, evidencia que es en este punto y en esta temporada de muestreo, en donde se obtienen los datos más variantes dentro de todo el estudio, pues la DBO obtuvo valores muy diferentes con el transcurso del tiempo y es específicamente en esta estación en la que se presencian los mayores y más cambiantes valores de este parámetro (2-173 mg/L), dado el incremento en la presencia de materia orgánica que se evidencia en cada temporada de muestreo. Del mismo modo, la aparición espontánea de las familias Ancyliidae e Hydroptilidae se da debido a que su hábitat está generalmente asociado a la vegetación sumergida y en presencia de muy altos niveles de materia orgánica (Garrido González, Benetti, & Pérez Bilbao, 2012). A nivel general, teniendo en cuenta los valores de pH en la totalidad del humedal, es posible inferir que la relación entre el pH y el índice de productividad primaria se da según la fijación del CO_2 , mediante la actividad fotosintética, pues el pH aumenta a una razón similar a la razón de fijación de CO_2 por los productores primarios (Fuentes & Massol-Deyá, 2002). A partir de los índices de diversidad, se dice que tanto las estaciones como las épocas de muestreo coinciden en

la clasificación de “baja diversidad o alta dominancia”, lo cual se evidencia en el análisis de composición estructural, teniendo en cuenta que hay familias que están presentes en todas las estaciones y en todos los muestreos y que, además, cuentan con un número mucho mayor de individuos con respecto a otras. Se dice que valores inferiores a 2.5 obtenidos en éstos índices son indicadores de algún tipo de contaminación (Crettaz-Minaglia, Juárez, & Aguer, 2014), aspecto que se encuentra fuertemente relacionado con los índices biológicos aplicados para cada estación y época de muestreo. La familia Chironomidae se destaca por ser la más abundante en el cuerpo de agua, es decir, representa la dominancia del humedal, además de presentar una característica particular que hace referencia a un nivel mesotrófico del mismo, encontrando relación directa con los análisis de productividad primaria y clorofila *a*. Las variables que presentaron mayor relación con las familias más abundantes son OD y nutrientes (nitritos, nitratos, fosfatos), a partir de lo anterior, es posible identificar la afinidad y tolerancia que se da entre la abundancia de familias y las condiciones del ecosistema en el que se encuentran, por lo tanto, se dice que las alteraciones que se den en alguno de estos parámetros, tendrán consecuencias directas en la presencia de estas familias, pues según Juan Naranjo (2003), el incremento de materia orgánica dado por la presencia de vertimientos domésticos genera la disminución del OD por el aumento de los procesos oxidativos de la materia orgánica, y tal disminución altera de forma significativa la estructura y composición de las comunidades acuáticas. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que algunas poblaciones son más tolerantes que otras a dicho cambio (Naranjo & López, 2013). Lo anterior es evidenciado en los resultados obtenidos del ACC, pues de ellos se puede

argumentar que los componentes abióticos del ecosistema y los componentes bióticos (para este caso, macroinvertebrados) se encuentran vinculados entre sí, pues la presencia de los organismos evidentemente está ligada a las variaciones del ambiente. Por otro lado, a partir del análisis y comparación de los valores obtenidos en los índices biológicos aplicados a macroinvertebrados, se determina que los índices BMWP/Col. y ETP coinciden en establecer la calidad del agua como crítica dadas las condiciones bajo las que estos índices se evalúan, se decide tomar como referencia de evaluación de calidad del agua, el índice ASPT, que se presenta como un complemento del IBMWP/Col. ya que tiene en cuenta la cantidad de familias obtenidas y por lo tanto, su resultado se aproxima a un valor más real de calidad, el cual indica calidad del agua aceptable. Lo anterior, de forma conjunta con el índice de calidad del agua (BCWQI) y los índices de contaminación (ICOPH e ICOTro) indican un nivel igualmente aceptable enfocados hacia la preservación de flora y fauna, que se refieren a que puede presentar deterioro y sus condiciones difieren en gran medida de las naturales o de los niveles deseables, en este caso a lo establecido por el decreto 1076 de 2015. Finalmente, se determinan los servicios ecosistémicos que presta el humedal teniendo en cuenta los parámetros analizados. Con respecto a las características físicas y químicas del agua, algunos de los principales servicios ecosistémicos se refieren a la regulación hídrica, mantenimiento de la biodiversidad, ciclo hidrológico entre otros. Por otra parte, en cuanto a los bienes y servicios que provee el humedal con respecto a la productividad primaria y el estado trófico del mismo, se presenta la retención de carbono en suelo y en biomasa para el desarrollo de los

diferentes procesos biológicos, además de la producción de materia orgánica y oxígeno disuelto, como regulación del ciclo de nutrientes, los cuales son usados por los organismos acuáticos. Con relación a los patrones ecológicos y la diversidad biológica de los ecosistemas, se conoce que son determinantes de su estructura, función y mantenimiento. Esto, debido a que no se trata sólo de conocer la riqueza o diversidad de especies que en ellos habitan, se trata de la variedad de funciones ecológicas que en su conjunto determinan la funcionalidad del sistema ecológico como un todo, es decir, el servicio ecosistémico de biodiversidad y la variedad de servicios que esta provee. A partir de lo anterior, la abundancia y diversidad de macroinvertebrados presente en el humedal refleja que son la comunidad que propicia las mejores condiciones en equilibrio de nutrientes y materia orgánica, así como de reciclaje de los nutrientes en el ecosistema (Tapia Coral, Teixeira, Velásquez, & Waldez, 2016).

RESUMEN

El Humedal El Resbalón, es un humedal ubicado en Cota-Cundinamarca (Colombia), pertenece a la subcuenca del río Chicú, con una gran importancia debido a la variedad de servicios ecosistémicos, bienes y funciones ambientales que presta. Actualmente se encuentra sometido a diversos tensiones ambientales, entre ellos, la llegada de vertimientos domésticos (viviendas y colegios), agrícolas y ganaderos. En el presente estudio, se analizó la variación espacio temporal del cuerpo de agua teniendo en cuenta la relación existente entre los macroinvertebrados acuáticos y las variables ambientales. Se realizaron 3 monitoreos (estiaje, transición y lluvia). Se estudiaron cinco estaciones distribuidas

estratégicamente, se registraron variables fisicoquímicas, se realizaron los métodos asociados al cálculo de productividad primaria y se realizó la recolección de macroinvertebrados acuáticos. Se calcularon los índices de calidad y contaminación del agua, índices aplicables a macroinvertebrados bentónicos y se determinó la productividad primaria con el fin de reconocer el estado trófico del humedal y a su vez la calidad del cuerpo hídrico. Se realizó un análisis de correspondencia canónica, método más productivo y utilizado en la historia de análisis multivariante en ecología, de factores ambientales y macroinvertebrados acuáticos. El ACC, mostró la variación espacio temporal del humedal con el período de estiaje (julio 2016), transición (agosto) y lluvia (octubre), identificando altas correlaciones entre nutrientes y presencia de familias y a su vez baja incidencia del pH y temperatura en cuanto a macroinvertebrados acuáticos. El estudio indica que se presentan relaciones en cuanto a variables bióticas y abióticas que contribuyen a la determinación del estado de la calidad del agua, concluyendo que a partir del análisis de los índices calculados el humedal se encuentra en un estado intermedio de contaminación, lo cual indica que su uso potencial está dirigido a la preservación de flora y fauna. A partir de ello, se considera que el humedal debe ser tenido en cuenta en programas de conservación y recuperación de humedales que se han implementado en otros cuerpos de agua por parte de la Corporación Autónoma Regional.

Palabras clave: humedales, calidad del agua, macroinvertebrados acuáticos, variables ambientales, productividad primaria.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Santo Tomás y su fondo de investigación FODEIN, por contribuir a la financiación del presente estudio. A Ángela Jaramillo por su colaboración en el rol de directora, como guía en el desarrollo de la investigación. Finalmente a Rafael Barragán, por su apoyo en el desarrollo de los análisis estadísticos, indispensables para alcanzar los objetivos propuestos dentro del proyecto.

REFERENCIAS

- Alba Tercedor, J. (1996). *Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad de las Aguas de los Ríos*. Almería, España: ISBN 84-7840-262-4.
- Alcaldía de Cota. (22 de Enero de 2016). *Alcaldía de Cota - Cundinamarca*. Obtenido de <http://cota-cundinamarca.gov.co>
- Alcaldía de Cota, Cundinamarca. (2015). *Área de la gestión Ambiental*. Cundinamarca, Colombia: Departamento de Planeación Nacional. Obtenido de http://cota-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/37623132643462626236396230393037/14_ambiente.pdf
- Álvarez, M., Córdoba, S., & Escobar, F. (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Amortegui Celis, C. A., & Lozano Beltrán, D. (2015). *Estrategias ambientales para el mejoramiento de la calidad del agua proveniente de la Planta de tratamiento de aguas Echavarría del municipio de*

- Madrid Cundinamarca. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Astor, Y. M., Lorenzoni, L., & Scranton, M. (2011). *Manual de métodos para el análisis de parámetros oceanográficos en la estación*. Venezuela: Edimar.
- Brower, J. E., & Zar, J. H. (1997). *Field and laboratory methods for general ecology*. Illinois, Estados Unidos: Brown Company Publishers.
- Consejo Nacional Ambiental. (2002). *Política Nacional para Humedales interiores de Colombia - Estrategias para su conservación y uso sostenible*. Bogotá D.C.: Ministerio del Medio Ambiente.
- Crettaz-Minaglia, M. C., Juárez, R. A., & Aguer, I. (2014). *Aplicación de índices de calidad del agua en un arroyo pampeano utilizando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores (Guauguaychú, Entre Ríos, Argentina)*. Entre Ríos, Argentina: Instituto de Limnología "Dr. R.A. Ringuelet".
- Estrada Carvajal, A. C. (2009). *Evaluación de la respuesta ecológica de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos a las plantas de tratamiento de humedales artificiales en el lago de Pátzcuaro, Mich.* Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla.
- Fernández Parada, N., & Solano Ortega, F. (Noviembre de 2005). Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. En N. Fernández Parada, & F. Solana Ortega, *Indices de Calidad y de Contaminación del Agua* (págs. 105-108). Pamplona, Norte de Santander, Colombia: Universidad de Pamplona. Obtenido de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf
- Figueroa Pianda, S. (2014). *Evaluación de estructura horizontal y la diversidad florística en un bosque lluvioso del Medio Magdalena, Hacienda San Juan del Carabe, Cimitarra-Santander*. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima.
- Fuentes, F., & Massol-Deyá, A. (1996). Biomasa y actividad microbiana: Productividad primaria en hábitats acuáticos. En F. Fuentes, & A. Massol-Deyá, *Manual de Laboratorios - Ecología de microorganismos*. Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico.
- García, M., Sánchez, F., & Marín, R. (2001). El agua. En m. y. Instituto de Hidrología, *El medio ambiente en Colombia* (págs. 159-167). Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM.
- Garrido González, J., Benetti, C., & Pérez Bilbao, A. (2012). *Id-Tax. Catálogo y claves de identificación de organismos invertebrados utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, alimentación y Medio Ambiente.
- González, I., Déjean, S., Martin, P., & Baccini, A. (2008). CCA: An R Package to Extend Canonical Correlation Analysis. Francia: Journal of Statistical Software.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2004). *Determinación de Oxígeno Disuelto por el Método Yodométrico Modificación de Azida*. Bogotá: IDEAM.
- Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humbolt. (2016). *Colombia anfibia. Un país de humedales*. Bogotá D.C: Puntoaparte bookvertising.
- Latha, C., & Thanga , V. (2010). *Macroinvertebrate diversity of Veli and Kadinamkulam lakes*. South Kerala: Journal of Environmental Biology.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Hong Kong: Blackwell Publishing .
- Moreno Franco, D. P., Quintero Manzano, J., & López Cuevas, A. (2010). *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofía*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza: M&T - Manuales y Tesis SEA.
- Naranjo, J., & López, P. (2013). *Biological monitoring working party, un índice biótico con potencialidades para evaluar la calidad de las aguas en ríos cubanos*. Santiago de Cuba: Ciencia en su PC.
- Pütz, P. (2010). *Analítica de laboratorio y sistema de control de proceso nutrientes - Eliminación y determinación de fosfato*. España: Hach Lange.
- Reinoso Flórez, G., Gutierrez, C., & López, E. O. (2008). *Biodiversidad faunística y florística de la cuenca del Río Lagunillas - Fichas Macroinvertebrados Acuáticos*. Tolima, Colombia: Cortolima.
- Roldán Pérez, G. (Septiembre de 1999). *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Obtenido de http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_23/88/375-387.pdf
- Rosenberg , D., & Resh, V. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. New York: Chapman and Hall.
- Sánchez, L. (2011). *El agua siempre busca su cauce*. Bogotá D.C.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). *Asignación y manejo de los recursos hídricos: Lineamientos para la asignación y el manejo de los recursos hídricos a fin de mantenerlas funciones ecológicas de los humedales*. En *Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales* (págs. 4a edición, vol. 10). Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar.
- Sharma, R. C., & Rawat, J. S. (2009). *Monitoring of aquatic macroinvertebrates as bioindicator for assessing the health of wetlands: A case study in the central Himalayas, India*. Uttarakhand, India: Ecological Indicators .
- Tapia Coral, S., Teixeira, A., Velásquez, E., & Waldez, F. (2016). *Macroinvertebrados del suelo y sus aportes a los servicios ecosistémicos, una visión de su importancia y comportamiento*. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 260.