

Determinación de la calidad del agua a partir de la composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos presentes en el humedal Gualí Tres Esquinas

Determination of water quality from the composition of communities of aquatic macroinvertebrates present in the wetland Gualí Tres Esquinas

Diana Carolina Villamil-Pasito^{*1}, Ciromar Lemus-Portillo¹, Monika Echavarría¹

Resumen

Objetivo: Determinar la calidad del agua del humedal Gualí Tres Esquinas en el municipio de Funza, a partir de la composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, como herramienta para la gestión y conservación del recurso hídrico. **Metodología:** Se establecieron 11 estaciones de muestreo, con una trayectoria longitudinal de 3,2 km aproximadamente; en cada una de ellas se colectó material biológico y se registraron parámetros fisicoquímicos *in-situ*; la información se analizó mediante tablas y bases de datos que permitieron estimar el índice BMWP/Col y el índice de similaridad. **Resultados:** Se colectaron e identificaron 776 ejemplares de macroinvertebrados acuáticos, categorizados en 6 clases, 17 familias y 19 géneros; los individuos colectados a lo largo del estudio representan las familias taxonómicas Chironomidae, Hyalellidae, Culicidae, Physidae, Scirtidae, Elmidae, Dysticidae y Tipulidae, indicadoras de contaminación por materia orgánica con tendencia a la hipoxia que determina calidad crítica en el recurso hídrico. **Conclusiones:** El humedal Gualí Tres Esquinas presenta aguas ligeramente contaminadas para las estaciones 1, 5 y 8, aguas muy contaminadas para las estaciones 2, 3, 4, 6, 7, 9 y aguas fuertemente contaminadas por materia orgánica para las estaciones 10 y 11.

Palabras clave: Bentos, BMWP, Físico-químico, Índice biótico, Materia orgánica, Recurso hídrico.

Abstract

Objective: To established the water quality at the Gualí Tres Esquinas wetland in the municipality of Funza from the aquatic macroinvertebrate communities, as a tool for the hydric resource's management and conservation. **Metodology:** 11 sampling stations were established with a longitudinal path of 3.2 km approximately, biological material was collected in each station, also there physico-chemical parameters *in situ* were registered, the information was analized through tables and databases that allowed to idetify the BMWP/Col and similarity index. **Result:** 776 aquatic macroinvertebrate specimen were collected and identified, clasified in 6 classes, 17 families and 19 gender, the specimen collected through this study represente the taxomyc family's Chironomidae, Hyalellidae, Culicidae, Physidae, Scirtidae, Elmidae, Dysticidae y Tipulidae that are a contamination index by organic material with tendency to hypoxia, it determines the hydric resource's critical quality. **Conclusions:** The Gualí Tres Esquinas wetland presents slightly contaminated water at stations 1.5 and 8. Very contaminated water at stations 2, 3, 4, 6, 7 and 9. And heavily contaminated water by organic material at stations 10 and 11.

Keywords: Benthos, Biotic index, BMWP, Hydric resource, Organic matter, Physico-chemical.

Introducción

Los humedales son espacios saturados de agua, donde existe una dinámica continua entre los ecosistemas acuáticos y terrestres, razón por la cual se les

atribuye el término de tierras de transición o ecotonos (Roldán y Ramírez 2008). Estos cuerpos de agua de carácter lento poseen tres componentes claves, correspondientes a sustrato, agua y comunidades biológicas (CAR 2011).

¹ Centro de Estudios en Hidrobiología, Universidad Manuela Beltrán, Bogotá, Colombia.

* Autor para correspondencia: dianavillamil2010@hotmail.com

Fecha recepción: Septiembre 3, 2018 Fecha aprobación: Noviembre 22, 2018 Editor Asociado: Mosquera-Guerra F.

Estas zonas de vida brindan valor a nivel cultural, social y ecológico, que se asocian con los bienes y servicios ecosistémicos que ofrecen, entre los que se destacan la regulación hídrica y climática en la región, el control de inundaciones, la retención de contaminantes, sedimentos y nutrientes; también a nivel ecológico actúan como corredores biológicos para aves migratorias y reservorios de especies autóctonas (CAR 2011).

Estos cuerpos de agua suelen ser de condición natural o artificial, siendo el humedal Gualí Tres Esquinas de comportamiento natural tipo palustre. Los humedales palustres tienen origen a partir de depresiones en su terreno y se caracteriza por no estar conectados directamente a un río o lago; estos pueden ser praderas húmedas, lodazales, ciénagas y/o fangales (Odum y Barrett 2006). Los fangales se caracterizan por ser pocos ácidos y presentar vegetación de juncos (Juncaceae) como familia abundante (Margalef 1999, Odum y Barrett 2006), características que se asemejan a las evidenciadas en el humedal Gualí Tres Esquinas.

Cabe destacar que el humedal ofrece refugio y hábitat para la avifauna en peligro a nivel global y nacional, destacándose la presencia de especies como la tingua bogotana (*Rallus semiplumbeus*), la tingua de pico verde (*Gallinula melanops*) y el pato andino (*Oxyura jamaicensis*) (Bejarano 2011), además de ser fuente superficial de agua para los municipios de Funza, Tenjo, Mosquera, y pieza fundamental en el distrito de riego la Ramada (CAR 2014).

Por lo antes expuesto, este recurso hídrico de tipo lento es declarado como Distrito Regional de Manejo Integrado (DMI), mediante Acuerdo N° 001 de 2014 siendo parte fundamental del sistema de riego y drenaje de la Ramada, que brinda beneficios en el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias (Bejarano 2011), servicios que se han visto afectados durante los últimos años, producto del desarrollo de actividades antrópicas.

Cabe destacar que la presente investigación brinda información primaria sobre el estado actual de la calidad del agua en el humedal Gualí Tres Esquinas a partir del estudio de 11 estaciones de muestreo, en las cuales se recopilan datos mediante la colecta e identificación de 776 macroinvertebrados acuáticos, así como información de reportes fisicoquímicos *in situ*, todo ello con el objeto de relacionarlos mediante

el índice BMWP/Col, a fin de determinar la calidad del agua y brindar información que facilite la toma de decisiones a nivel ambiental en pro de la gestión, el manejo y aprovechamiento adecuado del recurso.

Metodología

Área de estudio. El humedal Gualí Tres Esquinas se encuentra bajo la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), localizándose entre los municipios de Mosquera, Tenjo y Funza en el departamento de Cundinamarca (Téllez 2014), bajo las coordenadas geográficas 4°42'8.35"N - 74°10'51.01"O y 4°43'41.44"N - 74°11'33.54"O. El transecto estudiado en el humedal Gualí Tres Esquinas, se encuentra en el tercio medio en el municipio de Funza, comprendido entre las coordenadas geográficas 4°42'16" N – 74°10' 49.9" W y 4°43' 28.2"N - 74°11' 8.7" W, localizado en un rango altitudinal entre 2.530 y 2.598 metros sobre el nivel del mar, con una extensión longitudinal de 3,2 km.

Fase de campo. Se realizaron cuatro salidas técnicas de campo al humedal Gualí Tres Esquinas, comprendidas entre los meses de junio y julio del año 2016, con el fin de recolectar material biológico y registrar parámetros fisicoquímicos *in situ* de 11 estaciones de muestreo (Tabla 1), distribuidas equidistantemente en el transecto estudiado (Figura 1). En cada una de las estaciones de muestreo se establece un tramo de 50 m de longitud, en el cual se identificaron diferentes hábitats y biotopos de interés para el estudio.

Tabla 1. Estaciones de muestreo

Estación	Coordenadas		Altitud (msnm)
	N	W	
1	4°42' 16,0"	74°10'49.9"	2550
2	4°42' 22,1"	74°10' 45,0"	2550
3	4°42' 28,2"	74°10' 46.5"	2550
4	4°42' 34.4	74°10' 46.4"	2550
5	4°42' 44,4"	74°10'49,9"	2550
6	4°42' 53.6"	74°10' 54.7"	2530
7	4°42' 13.7"	74°11' 3.4"	2550
8	4°43' 12.7"	74°11' 3.3"	2530
9	4°43' 23.8"	74°11' 1.2"	2530
10	4°43' 23.9"	74°11' 4.3"	2598
11	4°43' 28.2"	74°11' 8.7"	2557

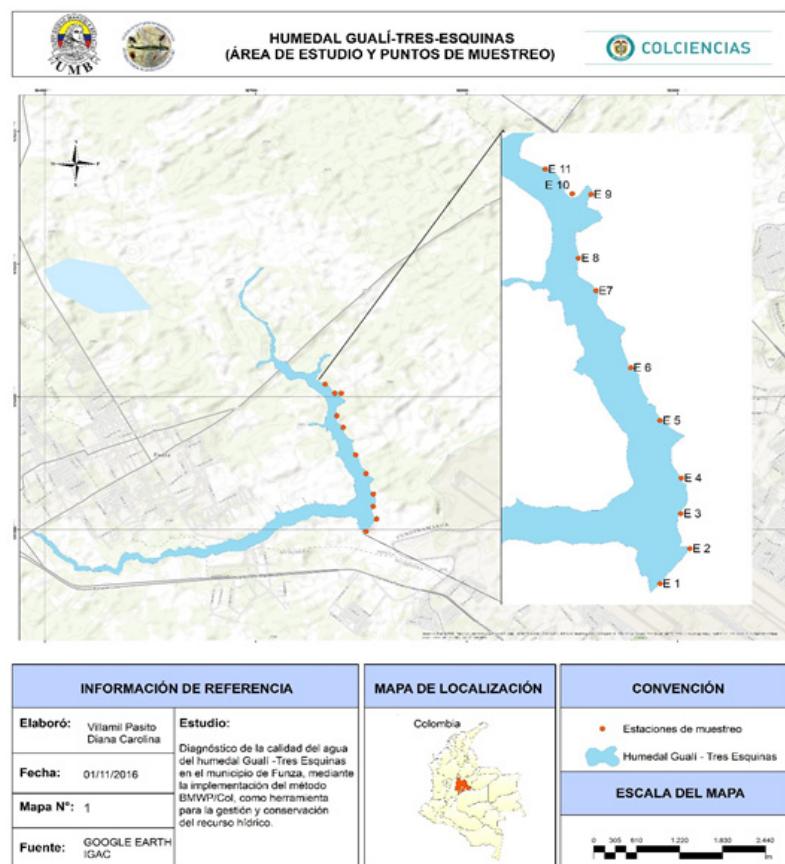


Figura 1. Área de estudio y estaciones de muestreo en el humedal Gualí-Tres Esquinas. Estación 1 (E1), estación 2 (E2), estación 3 (E3), estación 4 (E4), estación 5 (E5), estación 6 (E6), estación 7 (E7), estación 8 (E8), estación 9 (E9), estación 10 (E10) y estación 11 (E11).

El material biológico estudiado se centró en la colecta de macroinvertebrados acuáticos, para lo cual se hace uso de una red limnológica tipo D con ojo de malla de 300 micras; el proceso de colecta se realizó en cada una de las estaciones de muestreo a nivel de los distintos biotopos existentes, tomando en cuenta como criterios básicos el tipo de sustratos disponibles (vegetación ribereña, vegetación flotante, sedimentos y rocas). La colecta se realizó mediante tres arrastres con red tipo D en movimiento de zigzag en el sustrato durante un tiempo de 15 minutos; seguidamente el material colectado fue almacenado en frascos plásticos, rotulado y conservado con alcohol (etanol) al 70%; en cada estación la unidad de esfuerzo de muestreo fue de 45 minutos.

La toma de parámetros fisicoquímicos se realizó de forma *in situ* mediante equipos portátiles, se empleó multiparámetro YSI para determinar pH, conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxígeno disuelto (ppm), presión (mm Hg) y temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$), la turbidez

(NTU) se midió mediante turbidímetro HANNA. Por su parte, las coordenadas geográficas se establecieron con GPS marca Garmán Etrex 35 y la altitud mediante altímetro marca Atai 500.

Fase de laboratorio. Cada muestra colectada y preservada en etanol al 70%, fue inicialmente vaciada y separada en cajas Petri para su limpieza de residuos y material orgánico e inorgánico. La observación del material biológico se hizo mediante microscopio estereoscópico marca Leica Zoom 2000 con aumentos de 40X; por su parte la identificación del material biológico se realizó a nivel taxonómico de familia, categorizando los individuos como morfoespecies para lo cual se aplicó claves taxonómicas, usadas en la entomofauna acuática neotropical (Domínguez *et al.* 2009, Fernández y Domínguez 2001, Mc Cafferty 1981, Merritt y Cummins 1988, Needham y Needham 1962, Roldán 2003, Salles 2006).

Ánalisis de datos. Una vez organizada y tabulada la información, esta fue interpretada y analizada

teniendo en cuenta para fuentes teóricas e índices ecosistémicos relacionados con niveles tróficos, así como la puntuación y determinación del Biological Monitoring Working Party (BMWP) índice cualitativo implementado a nivel mundial, que determina la calidad del agua a partir de la presencia y ausencia de macroinvertebrados acuáticos (MAI); este índice se aplicó en el estudio teniendo en cuenta los ajustes realizados al mismo para Colombia por Roldán (2003), describiéndolo como BMWP/Col. Esta información permite establecer los criterios de la calidad del agua, con miras a proponer estrategias en el manejo, aprovechamiento y conservación del recurso hídrico.

Por otra parte, la observación de los cambios en la composición de macroinvertebrados a nivel de estaciones de muestreo con menor y mayor grado de afectación se estableció a partir del índice de similitud propuesto por Sørensen (1948).

Resultados

Componente fisicoquímico. Los parámetros fisicoquímicos registrados *in situ* para el humedal Gualí Tres Esquinas permiten tener una visión general de la calidad del agua. Los valores de pH obtenidos para las estaciones de muestreo se encuentran entre 6,58 y 7,44 unidades. Por su parte, los datos de turbiedad registrados demuestran altas concentraciones para este parámetro en las estaciones 10 y 11 correspondiente

a 1.202 y 1.175 NTU respectivamente; la estación 6 registra el menor valor 14,26 NTU (Tabla 2).

Con respecto al oxígeno disuelto, las 11 estaciones de estudio reportan concentraciones muy bajas a nivel general, destacándose las estaciones 4, 10 y 11 con valores correspondientes a 0,33, 0,40 y 0,27 ppm respectivamente.

La conductividad es la capacidad que tiene determinada sustancia para conducir corriente eléctrica, es decir, mide la cantidad de solutos (sales disueltas) que se encuentran en un solvente (agua); el estudio reporta un incremento del parámetro en las estaciones 8, 9, 10 y 11 con valores de 1.206, 1.045, 1.323 y 1.019 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente; de igual manera la estación 6 registra la menor conductividad, 324 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 2).

Los sólidos totales disueltos (TDS) reportados en las estaciones de muestreo oscilan entre 180 y 345 ppm, registrándose el valor mínimo para la estación 6 y el máximo en la estación 2 (Tabla 2).

La temperatura del agua en el humedal se mantuvo estable durante el tiempo de estudio, reportando temperaturas que oscilan entre 13,9 y 20 °C, valores de las estaciones 7 y 11 respectivamente. Por su parte, la temperatura ambiente en la zona de estudio registró una máxima de 16°C y una mínima de 9°C (Meteoblue 2016).

Componente biológico-macroinvertebrados acuáticos. Mediante la implementación del índice BMWP/Col, se determina la calidad del agua para

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos tomados de forma *in situ* en el humedal Gualí Tres Esquinas*

Parámetro	Parámetros fisicoquímicos										
	Datos fisicoquímicos										
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
pH (unidades)	6,60	6,73	6,87	6,62	6,58	6,65	7,10	7,10	6,83	7,44	7,09
Turbidez (NTU)	154,00	34,17	27,26	71,00	243,00	14,26	186,00	316,00	46,07	1202,00	1175,50
OD (ppm)	0,86	0,60	1,33	0,33	0,56	0,56	0,94	1,43	0,92	0,40	0,27
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	427,00	538,40	479,40	479,00	352,87	324,47	692,50	1205,50	1045,00	1323,00	1019,00
TDS (ppm)	282,00	345,00	335,00	269,00	215,00	180,00	—	—	—	—	—
Temperatura (°C)	16,38	16,03	16,26	14,89	15,80	16,74	13,90	16,00	15,30	19,60	20,00
Presión atmosférica (mm Hg)	566,42	528,17	567,19	563,00	564,80	564,28	574,80	565,30	565,50	564,60	565,70

* Oxígeno disuelto (OD) y sólidos totales disueltos (STD), parámetros fisicoquímicos tomados en el humedal Gualí Tres Esquinas; estación 1 (E1), estación 2 (E2), estación 3 (E3), estación 4 (E4), estación 5 (E5), estación 6 (E6), estación 7 (E7), estación 8 (E8), estación 9 (E9), estación 10 (E10) y estación 11 (E11)

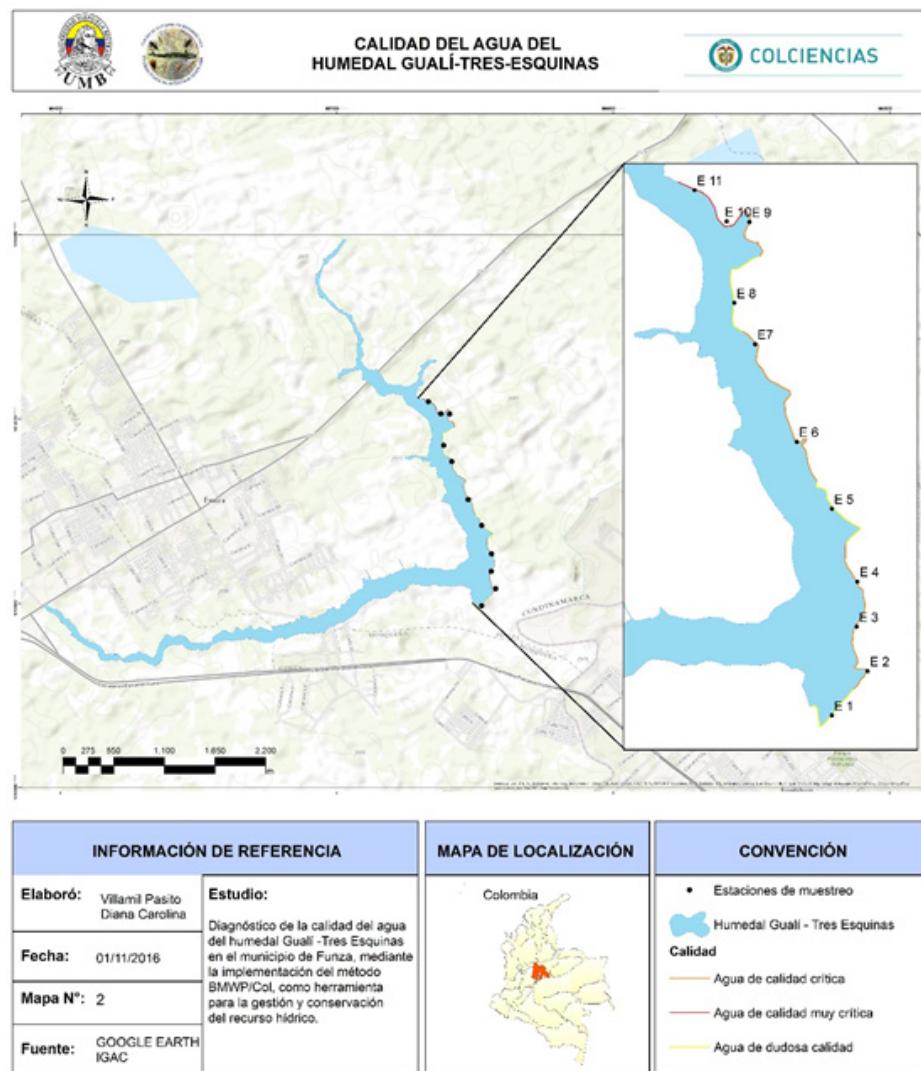


Figura 2. Calidad del agua del humedal Gualí Tres Esquinas.

cada estación de muestreo, presentándose aguas moderadamente contaminadas en las estaciones 1, 5 y 8; aguas muy contaminadas en las estaciones 2, 3, 4, 6, 7, 9 y aguas fuertemente contaminadas para las estaciones 10 y 11 (Tabla 3, Figura 2).

Se identificaron 776 macroinvertebrados acuáticos clasificados a nivel taxonómico en 17 familias correspondientes a *Hyalellidae* (2,2%), *Hydrophilidae* (3,2%), *Scirtidae* (39,8%), *Elmidae* (1,3%), *Dystiscidae* (0,6%), *Tipulidae* (6,1%), *Culicidae* (16,2%), *Chironomidae* (15,5%), *Dixidae* (0,1%), *Aeshnidae* (1,7%), *Corixidae* (0,1%), *Physidae* (4,5%), *Planorbidae* (0,1%), *Unionidae* (3,1%), *Tubificidae* (4,9%), *Glossiphoniidae* (0,4%) y *Planariidae* (0,1%) (Tabla 3).

Las estaciones estudiadas en su gran mayoría

registraron comportamientos similares a la presencia de comunidades bióticas de macroinvertebrados acuáticos. El estudio permitió evidenciar la asociación de dos grandes grupos, conformados por las estaciones 5, 2, 6, 7 y 3, 9, 4, 8, 1; por su parte, las estaciones 10 y 11 tuvieron un comportamiento diferente a las demás, debido a la presencia de individuos de las familias *Corixidae*, s.f *Chironominae*, *Tipulidae* y *Tubificidae* respectivamente (Figura 3). El análisis del comportamiento de las familias presentes por estación de muestreo se estableció a partir del índice de similaridad propuesto por Sørensen (1948), que se fundamenta en la presencia o ausencia de individuos en las estaciones comparadas.

Los macroinvertebrados acuáticos identificados, se categorizaron en 6 grandes grupos a nivel

Tabla 3. Determinación de la calidad del agua del humedal Gualí Tres Esquinas, mediante la implementación del índice BMWP/Col*

Clase	Orden	Familia	Género	E1		E2		E3		E4		E5	
				Nº	BM WP	Nº	BM WP	Nº	BM WP	Nº	BM WP	Nº	BM WP
Crustacea-Malacos-traca	Amphipoda	Hyalellidae	Hyalella	17	7	0		0		0		0	
Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae	Tropisternus	1	3	0		0		24	3	0	
		Scirtidae	Elodes	11	7	0		2	7	14	7	0	
		Scirtidae	Ora	6	7	1	7	0		0		0	
		Scirtidae	Prionocyphon	8	7	0		5	7	29	7	1	7
		Scirtidae	Scirtes	8	7	0		0		24	7	5	7
		Elmidae	Cylloepus	0		0		0		0		10	6
Insecta	Diptera	Dystiscidae	Rhantus	2	9	0		0		0		1	9
		Tipulidae	Tipula	1	3	1	3	2	3	0		0	
		Culicidae	Culex	0		2	2	29	2	21	2	19	2
		Chironomidae	Chironominae	0		1	2	0		3	2	2	2
		Chironomidae	Tanypodinae	0		0		1	2	0		0	
		Dixidae	sp2	0		0		0		0		0	
Gastropoda	Odonata	Aeshnidae	Anax	0		0		2	6	0		2	6
Gastropoda	Hemiptera	Corixidae	Centrocoris	0		0		0		0		0	
Bivalvia	Basommatophora	Physidae	Physa	0		11	3	4	3	0		1	3
	Basommatophora	Planorbidae	Gyraula	0		0		0		1	5	0	
Oligochaeta	Unionida	Unionidae	sp1	0		0		0		0		24	6
Hirudinea	Haplotaxida	Haplotaxidae	Actedrilus	0		6	1	0		0		0	
Hirudinea	Glossiphoniformes	Glossiphoniidae	Helobdella	0		0		0		0		2	3
Turbellaria	Tricladida	Planariidae	Dugesia	0		0		0		0		1	7
Total				54	50	22	18	45	30	116	33	68	58
ASPT					10		3		5		6,6		5,8

* Número de individuos colectados para cada familia (Nº), puntuación para cada familia según el índice BMWP (BMWP), agua de dudosa calidad (Amarillo), agua de calidad crítica (Anaranjado), agua de calidad muy crítica (Rojo), Estación (E)

de clases, correspondientes a Turbellaria, Bivalvia, Hirudinea, Oligochaeta, Gastropoda, Crustacea-Malacostraca e Insecta (Figura 4); el mayor porcentaje de individuos colectados e identificados (84,7%) corresponden a la clase Insecta, debido a que en esta se reportan los órdenes Coleóptera y Díptera con mayor cantidad de ejemplares (349 y 294 individuos respectivamente); referente al orden Coleóptera se establece 88,5% de individuos de la familia

Scirtidae; respecto al orden Díptera las familias más representativas son Culicidae, Chironomidae (subfamilia Chironominae) y Tipulidae con 42,9%; 37,8% y 15,9% respectivamente.

Discusión

Componente fisicoquímico. Los parámetros fisicoquímicos reportados en la presente investigación

Tabla 3. Determinación de la calidad del agua del humedal Gualí Tres Esquinas, mediante la implementación del índice BMWP/Col* (continuación)

Clase	Orden	Familia	Género	E6		E7		E8		E9		E10		E11	
				N ^a	BM WP										
Crustacea- Malacos- traca	Amphipoda	Hyalellidae	Hyalella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Coleoptera	Hydrophili- dae	Tropisternus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Scirtidae	Elodes	0	0	24	7	9	7	0	0	0	0	0	0
		Scirtidae	Ora	0	1	7	64	7	0	0	0	0	0	0	0
		Scirtidae	Prionocyphon	1	7	1	7	71	7	8	7	0	0	0	0
		Scirtidae	Scirtes	0	0	15	7	1	0	0	0	0	0	0	0
		Elmidae	Cylloepus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Diptera	Dystiscidae	Rhantus	0	0	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0
		Tipulidae	Tipula	0	0	0	0	2	3	0	41	3	0	0	0
		Culicidae	Culex	16	2	1	2	30	2	8	2	0	0	0	0
		Chironomi- dae	Chironominae	8	2	5	2	1	2	0	91	2	0	0	0
		Chironomi- dae	Tanypodinae	1	2	0	0	0	7	2	0	0	0	0	0
		Dixidae	sp2	0	0	0	0	1	7	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Odonata	Aeshnidae	Anax	1	6	1	6	0	7	6	0	0	0	0	0
	Hemiptera	Corixidae	Centrocoris	0	0	0	0	0	0	1	7	0	0	0	0
	Basommatophora	Physidae	Physa	3	3	16	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Bivalvia	Unionida	Unionidae	sp1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oligochaeta	Haplotaxida	Tubificidae	Actedrilus	31	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Hirudinea	Glossiphonii- formes	Glossiphoni- idae	Helobdella	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turbellaria	Tricladida	Planariidae	Dugesia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total				62	26	25	27	207	41	43	34	92	9	42	4
ASPT					3,7		5,4		10		5,7		4,5		2

* Número de individuos colectados para cada familia (N°), puntuación para cada familia según el índice BMWP (BMWP), agua de dudosa calidad (Amarillo), agua de calidad crítica (Anaranjado), agua de calidad muy crítica (Rojo), Estación (E)

corresponden a pH, conductividad, sólidos totales disueltos (TDS), temperatura, turbidez y oxígeno disuelto (OD); respecto al pH los valores obtenidos (6,58 y 6,87) para las 11 estaciones se encuentran dentro de los rangos admisibles, para la destinación del recurso hacia la preservación de la fauna, flora y el uso agrícola según lo establecido en el Decreto 1076 del 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2015).

La turbidez registra valores mínimos de 14,26 y máximos de 1.202 NTU (Tabla 2). Las estaciones 10 y 11 presentan los mayores valores, que a su vez se relacionan con elevadas temperaturas del agua (19,6°C y 20°C respectivamente), lo que disminuye el oxígeno disuelto presente en el medio acuático (Velandia 2013).

El oxígeno disuelto en cuerpos léticos proviene, en su gran mayoría, de los procesos fotosintéticos;

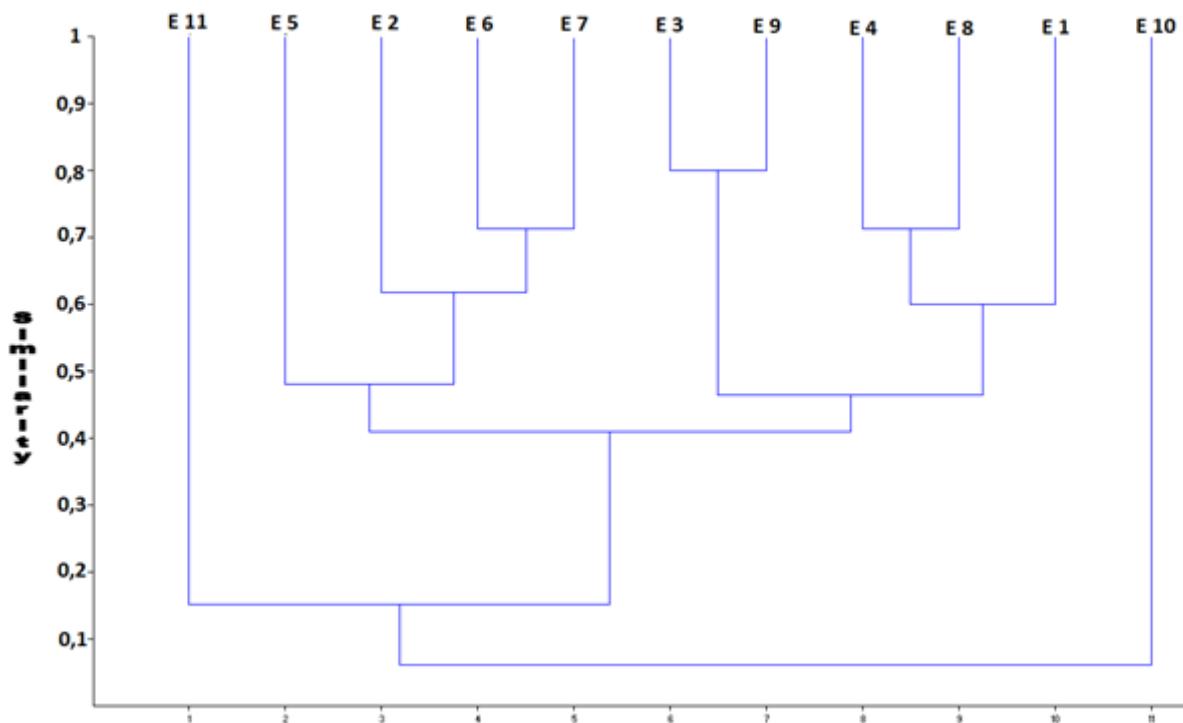


Figura 3. Índice de Sørensen (índice de similitud- cualitativo)

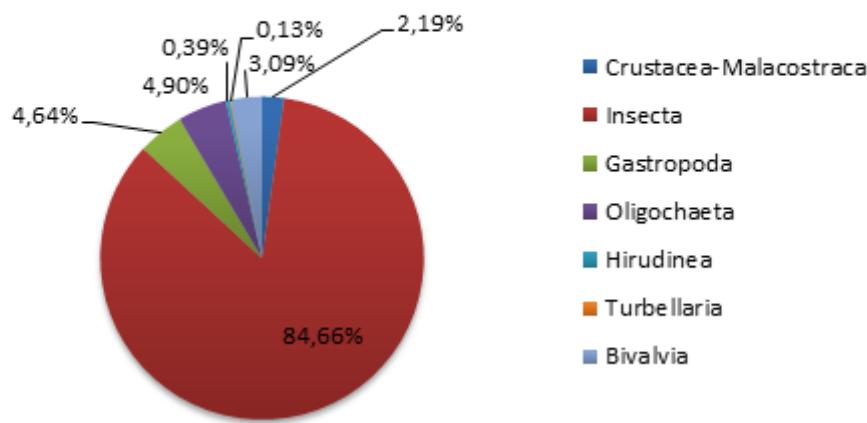


Figura 4. Porcentaje de individuos para cada clase de Macroinvertebrados Acuáticos reportados en el humedal Gualí Tres Esquinas.

este parámetro es fundamental para determinar la distribución de las comunidades bióticas y a su vez establecer los criterios de calidad del agua. Los valores reportados para las estaciones estudiadas se enmarcan entre 0,27 a 1,43 ppm (Tabla 2), valores que determinan condiciones de hipoxia según Goyenola (2007).

Por otro lado, los TDS, hacen referencia a la concentración de minerales presentes en el cuerpo hídrico (CAR 2012), los cuales poseen relación directa con la conductividad eléctrica. El estudio presenta valores de TDS entre 180 y 345 ppm; en las estaciones 2 y 3 se establecen valores con mayor concentración (345 y 335 ppm) respectivamente (Tabla 2), que determina condiciones

eutróficas para el humedal.

La conductividad registrada durante el estudio oscila entre 324,47 y 1323 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 2), que corresponde a aguas fuertemente mineralizadas; lo anterior, como producto de la afectación antrópica, lo cual genera un impacto negativo en el humedal y en su metabolismo ecosistémico (Roldán y Ramírez 2008).

Componente biológico-macroinvertebrados acuáticos. Las estaciones de muestreo reportan en promedio la colecta de cinco familias de macroinvertebrados acuáticos (MAI) de mayor frecuencia, entre las que se destacan Scirtidae, Chironomidae y Culicidae, organismos que son abundantes en aguas con

marcada turbidez y eventos de eutrofización (Roldán y Ramírez 2008).

La estación 1 registra la presencia de las familias Hyalellidae, Hydrophilidae, Tipulidae y Scirtidae; la estación 8 presenta familias correspondientes a Chironomidae, Scirtidae y Culicidae, mientras que para la estación 5 se reportan el mayor número de familias y géneros identificados en comparación con las otras estaciones, destacándose las taxas Dysticidae, Planariidae, Scirtidae, Aeshnidae, Elmidae, Culicidae y Chironomidae (subfamilia Chironominae) (Tabla 3), macroinvertebrados acuáticos en su mayoría indicadores de contaminación por materia orgánica (Acosta y Prat 2011), que acorde con los resultados del índice BMWP/Col permite categorizar la calidad del agua para las estaciones 1, 5 y 8 como “aguas moderadamente contaminadas” de calidad dudosa (Roldán 2003), de condiciones tendientes a la hipoxia, lo que produce la desaparición de taxas sensibles y al aumento de individuos tolerantes, pertenecientes a las familias mencionadas antes.

Los macroinvertebrados reportados para las tres estaciones son característicos de hábitats con presencia de escombros leñosos, materia orgánica, bajas concentraciones de oxígeno (E1: 0,86 ppm, E5: 0,56 ppm y E8: 1,43 ppm) y altas concentraciones de carbonatos (Roldán 1988); los altos contenidos de carbonatos (CO_3^{2-}) se asocia con la elevada concentración de sólidos totales disueltos presentes en las estaciones 1 y 5. Por otra parte, los macroinvertebrados acuáticos reportados se caracterizan por ocupar biotopos con temperaturas entre los 13°C y 25°C, lo cual corresponde con las temperaturas del agua registradas para las estaciones mencionadas (Tabla 2).

Las estaciones 2, 3, 4, 6, 7 y 9, son categorizadas como “aguas muy contaminadas” de calidad crítica según el índice BMWP/Col (Roldán 2003), debido a la presencia de macroinvertebrados indicadores de aguas contaminadas por materia orgánica, destacándose las familias Culicidae y Chironomidae, con individuos presentes en común para las estaciones relacionadas.

Las estaciones 4 y 9 se caracterizan por presentar hábitats con dominio de macrófitas flotantes y emergentes, que disminuyen la tensión superficial del agua (Roldán y Ramírez 2008), provocando desoxigenación, acción que se evidencia en el humedal con registros de oxígeno disuelto equivalentes a 0,33 y

0,92 ppm respectivamente.

Cabe destacar que la zona aferente de la estación 3 se caracteriza por un elevado contenido de fango, materia orgánica, sedimentos y macrófitas, producto del desarrollo de actividades antrópicas como cultivos de cilantro (*Coriandrum sativum*), que involucran a su vez el uso de fertilizantes y pesticidas, que por procesos de infiltración y escorrentía llegan al humedal Gualí Tres Esquinas, acciones que contribuye a la baja concentración de oxígeno en el cuerpo de agua (Roldán 1988).

La estación 10 reporta la presencia de dos familias, Chironomidae y Corixidae, mientras que en la estación 11 se evidencia la presencia de las familias Tipulidae y Tubificidae (Tabla 3) bioindicadoras de “aguas fuertemente contaminadas” de calidad muy crítica (Roldán 2003). Las familias mencionadas están relacionadas con bajas concentraciones de oxígeno disuelto (0,40 y 0,27 ppm) y altos contenidos de materia orgánica (Roldán y Ramírez 2008), condiciones que producen la proliferación de macrófitas, un incremento en la conductividad y elevados contenidos de biomasa, que inciden en la baja diversidad de taxas reportada en estas estaciones.

Afinidad entre estaciones (similaridad). Acorde con el índice de similaridad (Sørensen 1948) las estaciones 3 y 9 registran similitud en un 80%, asociada con la presencia de las familias Scirtidae, Tipulidae, Culicidae, Chironomidae (subfamilia Tanypodinae) y Aeshnidae. Por su parte, las estaciones 4, 8 y 1 reportan 60% de similitud, relacionado por la presencia de la familia Scirtidae con géneros *Elodes* y *Prionocyphon*. A su vez, las estaciones antes mencionadas se agrupan entre sí con una similitud de 0,5 que indica la presencia de diferentes comunidades (Ramírez 2002) (Figura 3).

A su vez, el índice permite evidenciar otro gran grupo donde se asocian las estaciones 2, 5, 6 y 7 conformando un conglomerado con similitud de 0,49 que se establece por la presencia de familias diferentes (Ramírez 2002). Las estaciones 6 y 7 reportan similitud semejante, atribuido a la presencia de las familias Scirtidae, Culicidae, Aeshnidae y Physidae.

A su vez, cabe destacar que las estaciones 10 y 11 registran valores de similitud correspondientes a 0,05 y 0,15 respectivamente, lo que indica la presencia de comunidades diferentes (Ramírez 2002). La baja similaridad entre las estaciones de muestreo

mencionadas se atribuye a la presencia y desarrollo de diferentes actividades antrópicas (industrias metalúrgicas y agricultura) que modifican el entorno, las condiciones físicas, químicas y biológicas del cuerpo de agua.

Conclusiones

Las concentraciones de oxígeno disuelto registradas para las once estaciones de muestreo en el humedal Gualí Tres Esquinas reportan condiciones de hipoxia, con valores muy reducidos para el sostenimiento y la preservación de flora y fauna en aguas dulceacuícolas frías (Decreto 1076 de 2015).

Los datos de pH reportados para las 11 estaciones se encuentran entre los valores admisibles para uso agrícola correspondiente al rango entre 4,5 y 9,0 unidades, cumpliendo con lo establecido por el Decreto 1076 de 2015.

El índice BMWP/Col determina para el ecosistema acuático aguas moderadamente contaminadas -clase III en las estaciones 1, 5 y 8; aguas muy contaminadas -clase IV para las estaciones 2, 3, 4, 6, 7 y 9 y aguas fuertemente contaminadas -clase V en las estaciones 10 y 11. De forma general el humedal Gualí Tres Esquinas reporta aguas contaminadas, razón por la cual se debe revisar y evaluar su actual uso.

En el humedal Gualí Tres Esquinas predominan grupos tolerantes a la contaminación orgánica, pertenecientes a las familias Culicidae, Tipulidae, Chironomidae y Tubificidae, cuya presencia indica un deterioro fuerte en el ecosistema, reflejado por el cambio en el uso del suelo sobre la ronda hídrica, la presencia de actividades antrópicas, industriales y la extensión de la frontera urbana.

Debido al estado ecológico y las condiciones hídricas que presenta el ecosistema, se hace necesario establecer un monitoreo permanente de la calidad del agua del humedal Gualí Tres Esquinas, incluyendo aspectos biológicos y fisicoquímicos que a su vez permitan establecer una base de datos que brinde información de línea base en pro del conocimiento ecosistémicos y del desarrollo de proyectos que garanticen la integralidad ecosistémica, la conservación y el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico.

Literatura citada

- Acosta R, Prat N. 2011. Trophic ecology of *Hyalella* sp. (Crustacea: Amphipoda) in a high Andes headwater river with travertine deposits. *Internat Rev Hidrobiol.* 96 (3): 274-85. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/iroh.201111247>
- Bejarano E. 2011. Concepto previo declaratoria Distrito Regional de Manejo Integrado Humedal Gualí Tres Esquinas y Lagunas de Funzhé. Bogotá: Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). 2011. Humedales del territorio CAR. Bogotá: CAR. Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5adf57a6d882c.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. 2012. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. Bogotá: CAR. Imprenta Nacional de Colombia.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. 2014. Acuerdo N° 001 de 18 Feb. 2014. Plan de manejo ambiental del Distrito Regional de Manejo Integrado de los terrenos comprendidos por los humedales Gualí Tres Esquinas y Lagunas de Funzhé. Bogotá: CAR. Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5f33244fc764f.pdf>
- Domínguez E, Molineri C, Nieto C. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Tucumán: Fundación Miguel Lillo. pp. 55-93. Disponible en: <https://bit.ly/3dYKDFk>
- Fernández HR, Domínguez E. (eds.). 2001. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Tucumán: Editorial Universitaria de Tucumán. Disponible en: <https://bit.ly/3ugj8Nn>
- Goyenola G. 2007. Oxígeno disuelto: Guía para su utilización. Uruguay: Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos.
- Margalef R. 1999. Ecología y economía: ¿Ajenas, divergentes o complementarias? *Pirineos.* 153-154: 175-81. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/166625>
- Mc Cafferty P. 1981. *Aquatic Entomology. The Fishermen's and Ecologists' Illustrated Guide to Insects and Their Relatives (Crosscurrents).* Boston: Jones and Bartlett Publishers.
- Merritt R, Cummins K. 1988. *An introduction to the aquatic insects of North America.* USA: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Decreto N° 1076 de 2015. Bogotá: MADS. Disponible en: <https://bit.ly/2R3ITBD>
- Meteoblue. 2016. Clima Funza. Disponible en: <https://bit.ly/3xz1feA>
- Needham J, Needha, P. 1962. *A guide to the study of Fresh-Water Biology.* 5^a ed. New York: Comstock Publishing Company, INC. Disponible en: <https://bit.ly/3vurC3k>

- Odum EP, Barrett GW. 2006. Fundamentos de ecología. 5^a ed. México: Thomson. 598 pp.
- Ramírez A. 2002. El muestreo de poblaciones y comunidades ecológicas. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Roldán G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Medellín: Universidad de Antioquia. Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”.
- Roldán G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldán G, Ramírez JJ. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. 2^a ed. Medellin: Editorial Universidad de Antioquia. Disponible en: <https://bit.ly/330YvJ0>
- Salles F. (2006). As ninfas de Ephemeroptera (Insecta) ocorrências no Brasil Tese. Vícosa: Universidad Federal de Vícosa.
- Sørensen T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. Biologiske Skrifter/Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, 5 (4): 1-46. Disponible en: <https://bit.ly/2R9Ao86>
- Téllez, V. 2014. Humedal Gualí-Tres Esquinas será protegido. Disponible en: <https://bit.ly/2SeJAbW>
- Velandia Y. 2013. Turbiedad del agua. Disponible en: <https://bit.ly/3aL5727>