

CARACTERIZACIÓN DEL RÍO TOTA (PARTE ALTA), POR MEDIO DE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS Y LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS.

Juan David Rincón Silva¹, Yimmy Montoya Moreno².

¹Licenciado en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional, Estudiante de Maestría Universidad Pontificia Bolivariana. E-mail: judavidrs@gmail.com

²Doctor en Ingeniería, Investigador grupo GeoLimna, Universidad de Antioquia. E-mail: yimmymontoya3@hotmail.com

RESUMEN

Esta investigación busca conocer las condiciones ecológicas de la cuenca alta del río Tota (Boyacá), en donde se realizaron 3 muestreos en 6 estaciones entre mayo a julio del 2021. Las variables fisicoquímicas no mostraron una variabilidad significativa, se evidenció el predominio de algunos grupos (familia Hyallellidae) y cambios en la riqueza de taxones. Se encontraron 1694 individuos pertenecientes a 15 familias y a 7 órdenes. El río Tota evidenció ser oxigenado, frío, poco mineralizado y con un pH ligeramente básico. Los valores del índice BMWP/Col se encontraron entre crítico y aceptable, con un promedio de 47 (calidad aceptable). Se evidenció bajos valores de tolerancia a la variación de las condiciones fisicoquímicas en las familias Hydrobiosidae, Perlidae, Chrysomelidae, Tabanidae, Scirtidae, Baetidae, Hyallellidae y Ptilodactylidae; las familias que estarían asociadas a mayores niveles de tolerancia de las características fisicoquímicas (indicadoras de menor calidad del agua), fueron las familias Muscidae, Elmidae, Ceratopogonidae, Simuliidae.

Palabras clave: Monitoreo, índice BMWP/Col, cuenca y caracterización ecológica.

Recibido: 27 de febrero de 2023. Aceptado: 19 de Junio de 2023

Received: February 27, 2023. Accepted: June 19, 2023

CHARACTERIZATION OF THE TOTA RIVER (UPPER PART), BY MEANS OF PHYSICO-CHEMICAL VARIABLES AND AQUATIC MACROINVERTEBRATES.

ABSTRACT

This research seeks to know the ecological conditions of the upper basin of the Tota river (Boyacá), where 3 samplings were carried out in 6 stations between May and July 2021. The physicochemical variables did not show significant variability, the predominance of some groups (Hyallellidae family) is evident and changes to the richness of taxa. 1694 individuals belonging to 15 families and 7 orders were found. Tota river show to be oxygenated, cold, little mineralized and with a slightly basic pH. The values BMWP/Col index are between critical and acceptable, with an average value of 47 (acceptable quality). Low values of tolerance to the variation of the physicochemical conditions were evidenced in the families Hydrobiosidae, Perlidae, Chrysomelidae, Tabanidae, Scirtidae, Baetidae, Hyallellidae and Ptilodactylidae; the families that would be associated with levels of tolerance to greater fluctuations of the aquatic physicochemical characteristics, such as the families Muscidae, Elmidae, Ceratopogonidae, Simuliidae

Keywords: Monitoring, BMWP/Col index, basin and ecological characterization.

Cómo citar este artículo: J. Rincón, Y. Montoya. "Caracterización del río Tota (parte alta), por medio de variables fisicoquímicas y los macroinvertebrados acuáticos", *Revista Politécnica*, vol.19, no.38 pp.115-128, 2023. DOI:10.33571/rpolitec.v19n38a7

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los criterios que determina la calidad de vida de las personas, tiene que ver con las características medioambientales del agua, lo que supone su conocimiento, especialmente en zonas rurales y marginales donde su comprensión es deficiente o su disponibilidad casi nula [1].

El World Bank [1] señala que el agua es un recurso esencial para la vida, hasta para la higiene personal [2]; impulsa el crecimiento y desarrollo de las sociedades, además es esencial para su funcionamiento [3] y dinámicas globales [4]. [5] definen el agua como un “recurso natural esencial e imprescindible para la vida y las actividades humanas”. [6] abordan la noción de gestión integral del recurso hídrico debido a la rápida transformación que sufren estos ecosistemas.

[6] proponen el concepto de estrés hídrico, debido a que varias ciudades del mundo con altas tasas poblacionales, están quedando desprovistas del recurso. [7] plantearon la articulación de 3 sectores; el agua, la energía y los alimentos, en un enfoque que busca eficiencia y la ejecución de políticas con relación a su sostenibilidad.

En Colombia la situación no es distinta, muchas de las cuencas y redes hídricas son impactadas por vertimientos de aguas residuales, explotación minera, manejo inadecuado, entre otros [5], lo que provoca fuertes impactos al recurso y su necesidad de estudio y comprensión. [8] mencionan que es fundamental el monitoreo y control del agua, debido a que es un tema de preocupación mundial. Las fuentes hídricas están expuestas a una variedad de factores que modifican su calidad, muchas de estas generadas por el hombre [9].

[10] indica que el agua es un recurso que limita el desarrollo humano, por ello se sugiere el desarrollo de estudios basados en parámetros fisicoquímicos, además del uso de organismos como indicadores ecológicos de calidad del recurso hídrico. [11] explican que la evaluación de la calidad del agua se ha basado en análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, sin embargo, múltiples investigaciones demuestran la necesidad de incluir las comunidades acuáticas, debido a que se ofrece una caracterización amplia y completa del estado general de la cuenca hídrica. [12] sostuvieron que la utilización de organismos en la evaluación de la calidad de agua permite conocer de mejor manera las condiciones ecológicas de una fuente hídrica. [13], afirmaron que el uso de los macroinvertebrados como bioindicadores ha aumentado en las últimas décadas, lo que ha generado múltiples métodos estándar con relación a su utilización.

[14] advierten que el enfoque para evaluar la calidad del recurso hídrico se fundamenta en tres factores: físicos, químicos y biológicos, lo que ha permitido la creación de diferentes índices, ejemplo de ello es el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), el cual fue propuesto en Inglaterra en 1970, como un método fácil y simple para evaluar la calidad del agua utilizando macroinvertebrados [15].

[16] argumentan que el BMWP, es uno de los índices más utilizado y el cual se caracteriza por dar un puntaje específico a cada taxón según la sensibilidad a la contaminación. [15] adaptaron este índice al contexto colombiano, denominándolo BMWP/Col, estrategia que se implementó para el análisis de ecosistemas de alta montaña.

Las comunidades biológicas presentes pueden dar a conocer efectos y presiones que se ejerce sobre estos ecosistemas [17]. Los macroinvertebrados son el grupo más usado para este tipo de estudios [18], debido a que son protagonistas en la identificación de la calidad del recurso hídrico, además que responden rápido a variaciones ambientales en estos ecosistemas [19].

Finalmente, con el desarrollo de esta investigación se pretende realizar una caracterización ambiental de la cuenca alta del río Tota desde su nacimiento hasta la entrada a la vereda Ranchería, mediante el empleo de variables fisicoquímicas y los macroinvertebrados asociados a ellas, lo que permite la identificación de las condiciones ambientales persistentes y algunas actividades antrópicas asociadas.

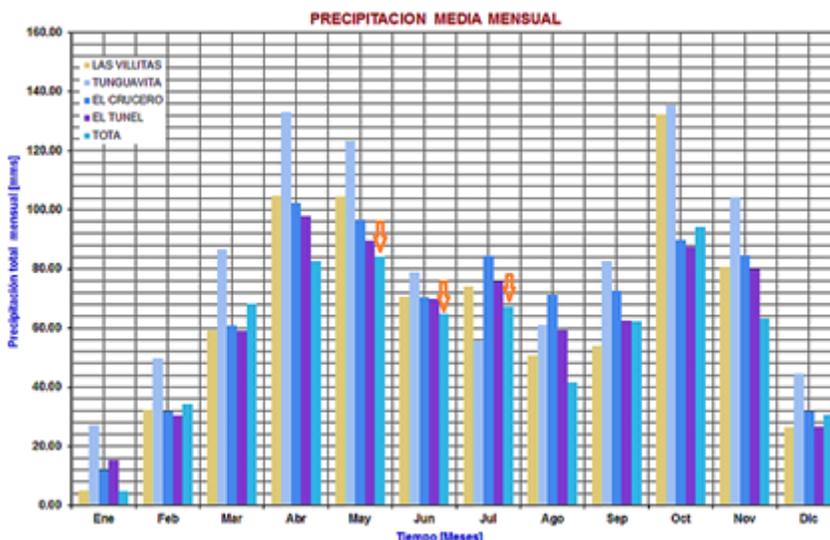


Figura 2. Régimen pluvial y meses de muestreo (Simbología en rojo). Recuperada y adaptada de Núñez et al (2014).

Los puntos de muestreo se ubicaron desde los 3643 m.s.n.m, estación altitudinalmente más alta, hasta los 3177 m.s.n.m, última estación ubicada cerca de la vereda Ranchería.

La primera estación (3643 m.s.n.m) hace parte de la zona de nacimiento, se caracteriza por el establecimiento de “alfombras de agua” asociadas a vegetación autóctona de paramo, en estas formaciones, el agua desciende en pequeños riachuelos que se van asociando y dan origen al cauce principal del río (Estación 1 “Nacimiento”).

La segunda estación (3564m.s.n.m), se identifica por la formación inicial del riachuelo alimentado por varios humedales y tributarios, en este lugar existe transición de ecosistemas finalizando el páramo, se presenta una amplia cobertura vegetal donde hay arbustos de talla media y zonas de pastizales, se evidencia la presencia de semovientes en el lugar. (Estación 2 “Riachuelo”).

Las estaciones 3 y 4 se ubicaron a los 3464 y 3353m.s.n.m respectivamente, en estos lugares se observan procesos de intervención antrópica, debido a la captación que se hace al río, reemplazo de la vegetación natural por pasto, sobre el lecho del sistema lótico existen arbustos, que en algunos lugares bordean el río generando sombra; se observa la presencia de trucha en sus aguas, la cual fue introducida por personas de la región; metros abajo se evidencian cultivos maderables (especialmente pino), cerca al río lo que supone intervención directa en la cuenca. (Estación 3 “Zona de tanques” y Estación 4 “Zona de pastoreo”)

En las estaciones 5 y 6 se registraron puntos de muestreo a los 3241 y 3174m.s.n.m, en estos sitios se hace evidente un uso diferente del suelo [24], además se observan zonas de cultivo, donde predomina la papa, cebolla, maíz, arveja, haba y pino para uso maderable, que son base de la economía de la región y que eventualmente conduce a procesos de eutrofización [21, 22] debido al uso de sustancias químicas asociadas a la producción agrícola. La última estación se ubicó metros antes de la vereda de Ranchería, en donde prevalece el establecimiento de comunidades humanas cerca de la ronda del río. (Estación 5 “Zona de cultivos” y Estación 6 “Zona Ranchería”).

2.2 Muestreo.

Para la medición de variables fisicoquímicas del agua y la recolección de especímenes, cada estación fue visitada tres veces, con una periodicidad mensual entre mayo, junio y julio del 2021, en distintos momentos pluviométricos, reflejados en la Figura 2.

2.2 Medición de variables físicas y químicas.

En cada estación de muestreo se midieron *in situ* las variables fisicoquímicas, se utilizó la sonda paramétrica Waterproof HANNA HI 98129, para la medición del pH, TDS (sólidos totales disueltos) y EC (conductividad eléctrica), además se utilizó el Dissolved Oxygen Meter AR8210, para la medición de oxígeno disuelto (OD) y temperatura. Los datos se registraron en un documento Excel para su posterior análisis.

La altitud de cada sitio de muestreo se registró mediante la App para celulares Android (GPS Altitud), utilizada en un equipo celular Samsung Galaxy S9.

2.3 Colecta de macroinvertebrados.

Con relación a la colecta de material biológico, se exploró cuidadosamente cada uno de los sitios de muestreo, se empleó la red de pantalla y la red manga Thieneman, para realizar la colecta, se utilizó además la red de colecta para la cual se hicieron 3 barridos a lo largo de la orilla, siguiendo las indicaciones de muestreo de [15]. Cada muestreo cubrió un área de 10m² y se realizó durante 30 minutos. Además, se recolectaron manualmente muestras en diferentes sustratos (rocas, arena, vegetación ribereña, hojarasca, etc), aplicando las recomendaciones y metodologías de [17,25, 26]. Posteriormente el material fue procesado en condiciones de laboratorio.

Para la preservación de los especímenes se retoma la metodología de [25, 27]. Las muestras fueron lavadas y los organismos se almacenaron en recipientes plásticos con alcohol al 70% debidamente rotulados, lo que permitió su separación e identificación, utilizando un estereomicroscopio Scientific y se realizó el conteo de todos los macroinvertebrados presentes en la muestra, según lo propuesto por [27].

La identificación de los macroinvertebrados se realizó con la ayuda de las claves taxonómicas de [15,27, 28, 29, 30, 31, 32]. Con el listado de familias obtenido se calculó el valor del índice BMWP/Col para cada muestreo y cada estación de acuerdo con lo propuesto por [26, 33].

2.4. Análisis de datos.

Los datos que se obtuvieron de los diferentes muestreos se sometieron a análisis estadístico de tendencia central (media) y de dispersión (coeficiente de variación). Se hizo, además una regresión lineal múltiple para asociar los macroinvertebrados con los factores fisicoquímicos obtenidos en el estudio. Se realizó un análisis de correspondencia canónica rectificado (DCCA) para identificar la longitud del gradiente y luego se hizo un análisis de correspondencia canónica (CCA) en donde se integraron las familias, las variables evaluadas y los sitios de colecta, para identificar los patrones de distribución de los macroinvertebrados acuáticos. Los análisis estadísticos mencionados se realizaron con el paquete estadístico Statgraphics Centurion XV y Canoco 5.0.

Para la exploración de comunidades biológicas se utilizó el índice biológico BMWP/Col [34, 24, 10], con el cual se permite identificar la calidad del recurso hídrico presente en la región. También se calcularon los índices comunitarios tradicionales (diversidad de Shannon-Wiener, equidad de Pielou, dominancia de Simpson y riqueza numérica de familias).

3. RESULTADOS

Los muestreos se realizaron entre los meses de mayo, junio y julio, donde se evidencia una leve transición de periodo húmedo a seco; mayo es el periodo más húmedo según el registro pluviométrico analizado, aunque según el gráfico se evidencian periodos donde se acentúan más los momentos húmedos y secos en la región.

Los datos obtenidos en las diferentes visitas realizadas a las estaciones de muestreo, fueron analizados mediante el uso de estadísticos de tendencia central (media) y de dispersión (varianza, desviación estándar y coeficiente de variación) (Tabla 1). Posteriormente se realizó un análisis mediante regresión lineal, con el fin de relacionar las variables fisicoquímicas en con los macroinvertebrados presentes en las zonas muestreadas.

Tabla 1. Variables fisicoquímicas valoradas en cada estación de la zona alta del río Tota durante los tres muestreos realizados.

VARIABLES	ESTACIÓN	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MEDIA
Oxígeno disuelto (mg/L)	1	7,2	6,9	7,9	7,3
	2	7,34	6,52	8,7	7,5
	3	7,15	6,87	7	7,0
	4	8,19	6,71	6,9	7,3
	5	10,26	7,01	7,2	8,2
	6	8,16	7,16	7,2	7,5
Temperatura del agua °C	1	10,05	11	10	10,4
	2	11,8	9,8	9,5	10,4
	3	11,9	10,6	10,6	11,0
	4	10,6	11	10,5	10,7
	5	11,2	10,4	10	10,5
	6	11,5	10,6	10,5	10,9
pH (unidades de pH)	1	7,5	9,2	9	8,6
	2	7,45	8,3	8,1	8,0
	3	7,98	8,3	8,3	8,2
	4	8	8,2	8,4	8,2
	5	8,35	7,75	7,5	7,9
	6	8,2	7,6	7,8	7,9
Conductividad eléctrica (µs/cm)	1	32	35	37	34,7
	2	29	23	25	25,7
	3	46	35	32	37,7
	4	34	40	38	37,3
	5	29	39	35	34,3
	6	24	20	22	22,0
TDS (solidos disueltos totales) ppm	1	18	16	15	16,3
	2	15	17	18	16,7
	3	23	19	21	21,0
	4	17	20	22	19,7
	5	14	20	22	18,7
	6	12	10	11	11,0

En el oxígeno disuelto se observan valores similares en los diferentes muestreos y estaciones, aunque se puede destacar que en el muestreo 2 los datos para esta variable son más bajos en comparación a los otros dos, probablemente se deba a que es el periodo menos lluvioso y por ende las concentraciones de oxígeno se mantienen más estables en el lecho del río.

Con relación a la temperatura en los periodos analizados no se evidencia un cambio apreciable en los registros obtenidos en las tres visitas realizadas y en las distintas estaciones registradas, aunque se puede observar que el muestreo 1 es el más cálido de las tres visitas realizadas, situación que se relaciona con el periodo más húmedo según el gráfico pluviométrico analizado. Los muestreos 2 y 3 presentan valores de temperatura similares, lo que se relaciona con los periodos pluviométricos más secos.

El pH, muestra unos valores similares a lo largo de los tres muestreos y en las diferentes estaciones, pues no se aprecia una considerable variación en los registros obtenidos. Es de destacar que el muestreo 1, muestra valores bajos con respecto a los demás datos obtenidos, se advierte también, el hecho que en el primer muestreo se presentaron en las primeras tres estaciones valores más bajos de pH que en las otras tres. Para el segundo y tercer muestreo se observa una dinámica distinta, en las cuatro primeras estaciones se observan valores más altos de pH que en las últimas dos estaciones, este comportamiento quizás se deba a la presencia de sustancias que ingresan al río y que generan este tipo de fluctuaciones en el comportamiento del agua. Los valores registrados tienden a la basicidad, valores que no se acentúan al largo de los muestreos. Este valor medio superior a 8 unidades de pH está relacionado con las condiciones del sustrato por el que transcurre el río.

Existe una correspondencia entre los valores de conductividad eléctrica y sólidos disueltos registrada en tabla 1, se observa entonces que el aumento de los sólidos disueltos, aumenta los valores de conductividad eléctrica, esto probablemente debido a que la concentración de estos sólidos en el agua aumenta la conductividad eléctrica. Destaca también, que estos valores no exhiben un patrón de organización característico encontrándose dispersos, no se evidencian picos elevados o valles, por lo que no siguen un patrón característico, esto probablemente a la existencia de factores que influyen y modifican estas variables dentro de cada estación.

Tabla 2. Medidas de tendencia central y de dispersión para las variables valoradas en la zona alta del río Tota.

VARIABLE	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,5	0,90	12
Temperatura del agua (°C)	10,6	0,67	6
pH (unidades de pH)	8,1	0,48	6
Conductividad eléctrica (µS/cm)	31,9	7,10	22
TDS =sólidos disueltos totales (ppm)	17,2	3,86	22

En la tabla 3 se presentan los macroinvertebrados recolectados durante las campañas de toma de muestras realizadas en los meses de mayo, junio y julio de 2021. En el río Tota encontraron 20 taxones pertenecientes a 15 familias y 1964 ejemplares de macroinvertebrados acuáticos, pertenecientes a los órdenes Coleoptera, Amphipoda, Díptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Platyhelminthes.

Tabla 3. Macroinvertebrados acuáticos recolectados durante las campañas de toma de muestras

ORDEN	FAMILIA	MUESTREO 1(23-05-2021)						MUESTREO 2 (27-06-2021)						MUESTREO 3 (31-07-2021)					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Coleoptera	Elmidae	6			8									6	7				
	Ptilodactylidae	5	14	9	6	7	7		8	7	4	4				5		16	4
	Scirtidae		38	5	6	4		9	15	13	12	8	5			13	14	19	5
	Chrysomelidae			3					3		3						3	3	
Díptera	Simuliidae	8	8	5	4	5	5				3	4		8	5			6	2
	Ceratopogonidae	4					7							3					
	Tabanidae		3					2	3		3							6	
	Muscidae					5													
Ephemeroptera	Baetidae		6	3			5		3	4	11		4	2	2	4	3	9	
Platyhelminthes	Planariidae	6	5	5		4		4	4	3	4		3		3		5		
Plecoptera	Perlidae			3					3		3								
Trichoptera	Leptoceridae	9	9	9		8	6	4	8	6	4	5		5	8	4	16	4	4
	Philopotamidae													4					
	Hydrobiosidae															3			
Amphipoda	Hyalellidae	30	50	52	35	38	45	43	150	92	50	61	43	58	56	130	46	22	

Entre los macroinvertebrados encontrados predominaron los coleópteros que representan el 26,6% de las familias registradas, seguidos por los dípteros con un 26,6%, los tricópteros con un 20% y finalmente, los efemerópteros, plecópteros, anfípodos y platelmintos con un 6,7% (1 familia) cada uno.

En el mes de junio de 2021 se registró el mayor número de insectos acuáticos recolectados entre las tres campañas de muestreo, con un valor de 636 individuos. Entre las estaciones de muestreo se encontró que la estación 1 presenta el valor promedio de individuos menor (160 individuos). En la estación 2 se alcanzó el mayor valor de capturas, con 420 insectos acuáticos y a partir de esta estación, se reduce el número de macroinvertebrados acuáticos reportados (313-estación 3, 337-estación 4, 282-estación 5 y 182-estación 5).

El análisis entre estaciones evidencia diferencias locales, ya que en la estación 1 (nacimiento del río Tota) predominan los coleópteros, anfípodos, dípteros y tricópteros. En la estación 2 (finalizando el Páramo) también predominan los coleópteros, anfípodos, dípteros, tricópteros y aparecen los efemerópteros; esta tendencia se refleja en las estaciones restantes, aunque en la estación 5 se registra un incremento en los géneros reportados.

Con relación a los índices comunitarios (Tabla 4) se evidenció una fauna de insectos acuáticos con baja riqueza de familias (entre 3 y 10 familias por estación), siendo las estaciones 3 y 4 las que registraron los mayores valores temporales. Con relación a la dominancia, los valores oscilaron entre 0,2 y 0,7, los cuales indican dominancias intermedias, las cuales tienden a aumentar hacia las estaciones finales y en el segundo muestreo, evidenció mayores valores numéricos. Los valores del índice de diversidad son bajos, oscilando entre 0.6 y 1.8 nats / ind. El índice de equidad presentó valores intermedios-altos, entre 0.5 y 0,9, los cuales son más altos durante la tercera campaña de muestreo.

Tabla 4. Índices comunitarios de los macroinvertebrados acuáticos (S: riqueza de familias, D: índice de dominancia de Simpson, H: índice de diversidad de Shannon-Wiener y E: índice de equidad de Pielou).

MUESTREO 1						
ESTACIÓN	1	2	3	4	5	6
S	7	8	9	5	7	6
D	0,25	0,25	0,34	0,4	0,33	0,39
H	1,67	1,66	1,58	1,23	1,51	1,31
E	0,86	0,8	0,72	0,76	0,77	0,73
BMWP/Col	49	59	68	38	49	43
MUESTREO 2						
ESTACIÓN	1	2	3	4	5	6
S	5	9	6	10	5	3
D	0,51	0,59	0,56	0,3	0,57	0,7
H	1	1	0,97	1,67	0,91	0,58
E	0,62	0,45	0,54	0,73	0,57	0,53
BMWP/Col	34	65	46	73	40	21
MUESTREO 3						
ESTACIÓN	1	2	3	4	5	6
S	6	6	6	6	9	5
D	0,2	0,5	0,47	0,61	0,23	0,4
H	1,69	1,09	1,13	0,85	1,8	1,22
E	0,94	0,61	0,63	0,47	0,82	0,76
BMWP/Col	39	45	46	42	63	40

Respecto al análisis multivariado, la Figura 3 evidencia las tendencias que arroja el CCA, notándose que factores como la altitud y el oxígeno disuelto presentan los vectores de mayor peso sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. Para el primer eje ordenado, variables como la temperatura del agua, la

conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos presentaron signo negativo con relación a la comunidad de macroinvertebrados, lo que se refleja en reducción de las familias registradas.

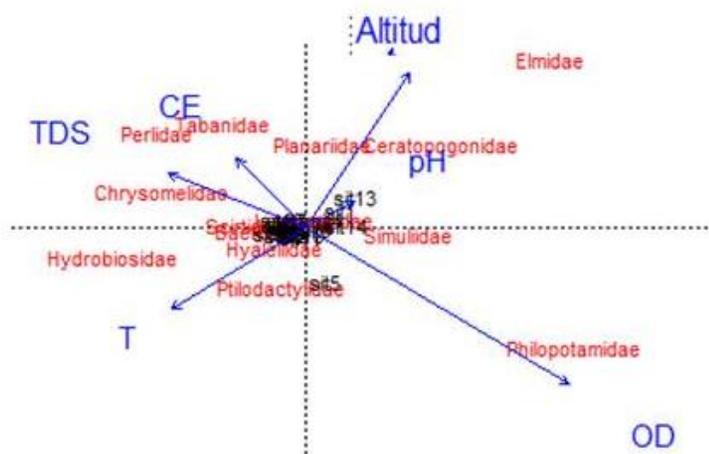


Figura 3. Tendencia del CCA.

Con relación a las familias de macroinvertebrados acuáticos en la Tabla 5 se evidencian los puntajes para los dos primeros ejes de ordenación, encontrándose las familias que tienen valores bajos de tolerancia a la contaminación evidencian vectores altos negativos en el primer eje de ordenación (Hydrobiosidae, Perlidae, Chrysomelidae, Tabanidae, Scirtidae, Baetidae, Hyalellidae y Ptilodactylidae); por otro lado, las familias con valores positivos, estarían asociadas a niveles de tolerancia mayores a la contaminación acuática, tales como las familias Muscidae, Elmidae, Ceratopogonidae, Simuliidae.

Tabla 5. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el CCA.

FAMILIA	EJE 1	EJE 2
Elmidae	1,43	0,59
Ptilodactylidae	-0,14	0,21
Scirtidae	-0,35	0,01
Chrysomelidae	-0,83	0,12
Hyalellidae	-0,17	-0,07
Simuliidae	0,61	-0,02
Ceratopogonidae	0,79	0,28
Tabanidae	-0,48	0,36
Muscidae	1,64	-2,63
Baetidae	-0,2	-0,01
Planariidae	0,1	0,29
Perlidae	-0,87	0,33
Leptoceridae	0,05	0,02
Philopotamidae	1,57	-0,42
Hydrobiosidae	-1,11	-0,11

El valor alto positivo de la familia Philopotamidae para los dos primeros ejes de la ordenación canónica se deben analizar con cuidado, ya que indicarían tolerancia moderada a la variación altitudinal, aunque asociada a valores altos de oxígeno disuelto, no tanto a la relación con tolerancia a la contaminación.

4. DISCUSIÓN

Desde el punto de vista hidrológico, el régimen bimodal en las precipitaciones se conserva. El primer período se presenta de abril a mayo y el segundo de octubre a noviembre. El período de precipitación más bajo se presenta de diciembre a febrero. Pero también continúa una tendencia a la reducción de las precipitaciones totales anuales. Esta reducción se refleja en una disminución del caudal del río Tota [22], la cual puede ser consecuencia de una mayor utilización del agua para el riego de pastos y el cambio climático a una escala mayor.

Las condiciones fisicoquímicas evidencian que las aguas del río Tota exhiben baja temperatura y mineralización con altos niveles de oxigenación. Estas condiciones oligotróficas han sido reportadas para este tipo de sistema, en los que los que las concentraciones iónicas son bajas, las cuales pueden variar con los periodos de lluvias [22].

El pH en el río Tota presenta un C.V bajo del 6%, con valores que se encontraron dentro del límite aceptable para la vida acuática y que generalmente se oscilan en un rango óptimo de pH para las especies de agua dulce entre 6.5 y 9.0 unidades. [33, 21,22] plantean que la acumulación de rocas en la parte alta de la cuenca, fue influenciada por glaciaciones. Esta fase erosiva contribuyó a la degradación y a la abertura del cuerpo ígneo y de las rocas aledañas, originando conos de deyección y la morfología irregular que se observa actualmente.

Los bajos valores de conductividad eléctrica pueden estar asociados a las características químicas del suelo, los cuales son ligeramente ácidos, alta capacidad de intercambio catiónico, bases totales altas, saturación total alta (calcio y magnesio) y saturaciones normales de potasio y fósforo [22].

Entre las variables fisicoquímicas se resalta la correlación significativa entre la concentración de oxígeno disuelto y la familia Philopotamidae. Esta familia se encuentra normalmente en aguas frías, oxigenadas y limpias [33].

Las bajas temperaturas predominantes en la zona se relacionaron positivamente con la presencia de las familias Hydrobiosidae y Ptilodactylidae. Además, que según el índice BMWP estas familias presentan puntajes de 8 y 10 respectivamente, lo que permite inferir en su presencia buena calidad biológica del agua. [35] realizó una investigación en este río, encontrando que los órdenes más abundantes fueron dípteros, efemerópteros y tricópteros. En esta investigación fueron los coleópteros y anfípodos, los grupos dominantes, lo que puede atribuirse a las dinámicas autóctonas y alóctonas del sistema lótico.

Physidae y Chrysomelidae se relacionaron positivamente con el incremento en la mineralización del agua, específicamente con los sólidos disueltos torales y con la conductividad eléctrica. Respecto a la familia Physidae es importante señalar que una de sus características es su capacidad de tolerar altos niveles de contaminación en los sistemas acuáticos; es una familia existente en diferentes continentes debido a que, la presencia de sus ejemplares en su mayoría, son introducidos por aves migratorias y actividades de comercio [36]. Sobre la familia Chrysomelidae es una de las familias con mayor diversidad en el mundo con más de 50.000 especies descritas a la fecha [37].

Tabanidae y Perlidae se relacionaron de forma negativa con el incremento en la conductividad eléctrica. En los países templados, la familia Perlidae en general y el género Anacroneuria en particular se consideran excelentes indicadores de la calidad del agua. Sugerimos que, considerando la complejidad de la ecología del grupo en América del Sur, no debería ser automáticamente considerado un excelente bioindicador en la región Neotropical [38]. Algunos macroinvertebrados de agua dulce, principalmente Díptera, pueden ser plagas. Las larvas de Culicidae, Simuliidae y algunos Tabanidae viven en agua dulce, pero los adultos son terrestres y las hembras chupan la sangre de vertebrados [39].

El género Hyalella fue muy abundante durante los tres muestreos en casi todas las estaciones. Estos organismos de Hyalella están adaptados a la vida en aguas frías, correntosas, bien oxigenadas, con presencia de materia orgánica y con valores elevados de conductividad (380 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) [40]. Sin embargo, en el Páramo de Sumapaz se puede afirmar que el rango de tolerancia de Hyalella ante la conductividad es amplio, oscilando de acuerdo con lo publicado, entre 0,4 y 380 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ [41].

Se evidenció una cantidad limitada de familias de macroinvertebrados acuáticos al compararse con ecosistemas andinos de menor altura [10, 19, 26], lo que se debe al aumento de la altura sobre el nivel del mar que genera una fuerte disminución de la temperatura del agua y posiblemente a una reducción en la oferta alimenticia por la escasa vegetación en la zona.

El índice BMWP/Col y los índices comunitarios no presentaron correlaciones significativas con ninguna variable. No obstante, en las estaciones cuando aumentó la riqueza de familias se incrementó el valor del índice BMWP. En el análisis multivariado la familia Elmidae presentó los mayores valores de correlación, por lo que se considera que aportan mucha información y pequeñas variaciones en esta familia pueden ser asociadas a variaciones en las condiciones ambientales del río Tota.

5. CONCLUSIONES

Los valores promedios y rangos de las variables fisicoquímicas como la temperatura del agua, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, nivel de mineralización, se encontraron dentro de los rangos permisibles para aguas de consumo humano, lo que favorece y simplifica los procesos de desinfección y potabilización del agua.

Las condiciones fisicoquímicas evidencian un escenario de buenas condiciones, el cual es contradicho por el índice BMWP; este último está calibrado especialmente para la región andina no tan alta como la zona de Tota, por lo que debería realizarse ajustes a las puntuaciones para una mejor aproximación a la calidad biológica del agua.

Importante mencionar que las condiciones fisicoquímicas revisadas en los muestreos, corresponde con las condiciones ya reportadas en algunos estudios, lo que permite informar que las condiciones ecológicas en la zona alta del río Tota no evidencian un cambio considerable con relación a su comportamiento temporal, aunque es necesario considerar que con las visitas realizadas a la zona de estudio se pueden presentar cambios importantes en el comportamiento ecológico de la fuente hídrica que deben estar actualizándose con el tiempo debido al uso que la comunidad aledaña obtiene de este recurso hídrico.

Los grupos dominantes para este estudio fueron los coleópteros y anfípodos con algunas familias representativas, esto permite mencionar que la fuente hídrica presenta unas condiciones particulares con relación a dinámicas ecológicas autóctonas y alóctonas, que permiten definir condiciones ecológicas específicas para este sistema lotico.

Se corresponde claramente que las condiciones fisicoquímicas como baja temperatura, mineralización baja con altos niveles de oxigenación, son condiciones que son características para este tipo de ecosistemas en zonas altas donde existe también un predominio de concentraciones iónicas bajas, estas concentraciones se ven afectadas debido al arrastre, debido a los dos periodos de lluvia muy característicos para la región.

Este estudio se considera un aporte a la dinámica y funcionamiento ecológico del río Tota del departamento de Boyacá, es necesario que el estudio se extienda a la región media y baja del río, debido a que las condiciones ambientales y la intervención antrópica desde el paso de la vereda de Ranchería hasta su desembocadura en el municipio de Firavitoba, influye considerablemente en las dinámicas ecológicas y el comportamiento fisicoquímico de esta fuente hídrica.

6. AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a la Universidad Pontificia Bolivariana y en especial a los docentes que compartieron muchos de sus conocimientos, con esta ayuda se pudo realizar la investigación de la que se deriva este manuscrito.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] The World Bank. (2020). Water Home. Recuperado de: <https://www.worldbank.org/en/topic/water/overview#1>
- [2] Construnario. (2020). La importancia del agua y la fortuna de tenerla a nuestro alcance. Constructec. Recuperado de: <https://www.construnario.com/notiweb/52119/la-importancia-del-agua-y-la-fortuna-de-tenerla-a-nuestro-alcance/#>
- [3] Alba, R., Ortega, J., Álvarez, G., Cervantes, M., Ruíz, E., Urtiz, N., y Martínez, A. (2013). Riesgos microbiológicos en agua de bebida: una revisión clínica. *Química Viva*, 12 (3), 215-233. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86329278004.pdf>
- [4] Terrapon, J., Ortiz, W., Viebahn, P y Amroune, S. (2019). Water Resources as Important Factors of the Energy Transition at the Local and Global Level. Wuppertal Institut. Recuperado de: <https://wupperinst.org/en/p/wi/p/s/pd/706/>
- [5] Miranda, R., Ramírez, R., y Angarita, W. (2016). Análisis microbiológico de la calidad del agua del río Algodonal en el tramo comprendido entre los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander. *INGENIO UFPSO*, 11(Especial), 189-200. Recuperado de: <http://revistas.ufps.edu.co/index.php/ringenio/article/view/334/241>
- [6] Sengupta, S y Cai, W. (2021). La crisis por el agua pronto afectará a un cuarto de la población mundial. *The New York Times*. Recuperado de: <https://www.nytimes.com/es/interactive/2019/espanol/ciencia-y-tecnologia/crisis-del-agua.html>
- [7] Mohtar, R. Lawford, R. y Engel, J. (2020) Editorial: Achieving Water-Energy-Food Nexus Sustainability: A Science and Data Need or a Need for Integrated Public Policy? *Frontiers in environmental Science*, 8. 54-89. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.3389/fenvs.2020.00132>
- [8] Tayal. T. y KV, P. (2013). Fuzzy Based Water Quality Estimator. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3, Issue 12. Recuperado de: https://ijetae.com/files/Volume3Issue12/IJETAE_1213_125.pdf
- [9] Sardiñas, O., Chiroles, S., Fernández, M., Hernández, Y., y Pérez, A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 6, 202-206. Recuperado de: <https://acortar.link/VpF4Hf>
- [10] Sánchez, M. (2005). El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santander. *Facultad de Ciencias Básicas*, 3, 2, 54-67. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/903/90330207.pdf>
- [11] Madera et al (2016). Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación. *SciELO. Inf. tecnol.* Vol. 1 No 27. 32-44. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642016000400011&script=sci_arttext&tlng=p
- [12] Rosas, J., Ávila, H., Sánchez, A., Rosas, A., García, S., Sampedro, L., Guadalupe, J y Juárez, A. (2016). Índice BMWP, FBI y EPT para determinar la calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. *RelbCi*. Vol. 1 No 2, 81- 88. Recuperado de: <http://reibci.org/publicados/2014/julio/2200103.pdf>
- [13] Gutierrez, P y Lorion, C. (2014). Application of the BMWP-Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: sensitivity to collection method and sampling intensity. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 62, 275-289. Recuperado de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v62s2/a18v62s2.pdf>
- [14] Pineda, J., Rosas, J., Sigarreta, J., Hernández, J y Reyes, M. (2018). Biotic Indices to evaluate water quality: BMWP. *International Journal of Environment, Ecology, Family and Urban Studies* Vol. 8, Issue 5. 1-12. Recuperado de: <https://acortar.link/e2IGF9>

-
- [15] Álvarez, L y Daza, E. (2005). Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. 112p. Recuperado de: <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/20.500.11761/31357/1/05-0424PS.pdf>.
- [16] Ruiz, J., Vélez, F., Caicedo, O y Aguirre, N. (2016). Modelación espacial de la calidad del agua en el río Tapartó, municipio de Andes, Antioquia. *Revista Mutis* 6(1), 16 – 27. Recuperado de: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1109>
- [17] Meza, A., Rubio, J., Días, L y Walteros, J. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia* 34(2), 443 - 456. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39163/41024>
- [18] Merritt, R.W. y Cummins, K.W. (1996). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, 862.
- [19] González, H. Crespo, E., Acosta, R y Hampel, H. (2019). Guía rápida para la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos del Cantón Cuenca. ETAPA EP. Cuenca. 156 pp. Recuperado de: <https://geo.etapa.net.ec/monitoreoecohidrologico/files/docs/GUIA%20MACROINVERTEBRADOS.pdf>
- [20] Zapata, A. y Donato, J. (2005). Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de montaña (río Tota – Colombia). *Limnética*, 24 (3-4), 327-338. Recuperado de: <http://limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-24-2-p-327.pdf>
- [21] Castro, M y Donato, J. (2009). Uso y manejo del agua de la cuenca del río Tota. Universidad Nacional de Colombia – Colciencias. 46p. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79879/R%C3%ADo%20Tota%209789587193336.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [22] Castro, M. y Donato J. (2008). Entorno natural del río Tota, En: J.C. Donato. *Ecología de un río de montaña de los Andes colombianos (Río Tota, Boyacá)*. pp. 73-79. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 240p.
- [23] Nuñez, L., Triana, J., Verdugo, N., Sopo, G y Martínez, O. (2014) Informe Batimetría Lago de Tota. IDEAM. Grupo de Modelación Subdirección de Hidrología. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/16003/Batimetria+Lago+de+Tota/6d14d1a2-a91b-4a20-86e3-58cb4242a616>
- [24] Meneses, Y., Castro, M y Jaramillo, A. (2019). Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/Col. y ABI. *24 (2)*. 299-310. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v24n2/0120-548X-abc-24-02-299.pdf>
- [25] Ramírez, A. (2010). Capítulo 2. Métodos de recolección. *Revista de Biología Tropical*. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 58 (Suppl. 4), 41-50. Recuperado de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58s4/a02v58s4.pdf>
- [26] Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col*. Ed Universidad de Antioquia. 170p. Medellín, Colombia.
- [27] Roldan, G y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. 2da edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. 440p.
- [28] Fernández, H y Domínguez, E. (2001). *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Tucumán. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. 282p.
- [29] González, S., Ramírez, Y., Meza, A y Días, L. (2012). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *SciELO*. 16 (2), 135–148. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n2/v16n2a12.pdf>

- [30] Hanson, P., Springer, M y Ramírez, A. (2010). Capítulo 1. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Rev. biol. Trop.* 58 suppl. 4 San José. Recuperado de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58s4/a01v58s4.pdf>
- [31] Jessup, B., Markowitz, A y Stribling, J. (2002). Family level key to the stream invertebrates of Maryland and Surrounding Areas. Tetra Tech, Inc. Second Edition. Recuperado de: <https://dep.wv.gov/WWE/getinvolved/sos/Documents/Benthic/MidAtInverts/FullManual.pdf>
- [32] Mafla, M, (2005). Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano Talamanca - Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Turrialba, Costa Rica. Recuperado de: <http://www.sidalc.net/repdoc/A0881E/A0881E.PDF>.
- [33] Roldán, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales "Francisco José de Caldas". COLCIENCIAS. Universidad de Antioquia. Recuperado de: <https://docer.com.ar/doc/11ns1n>
- [34] Klemm, D., Lewis, P., Fulk, F. y Lazorchak, J. (1990). Macroinvertebrate Field and Laboratory Methods for Evaluating the Biological Integrity of Surface Waters, EPA.600/4-90/030, Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Modeling, Monitoring Systems, and Quality Assurance, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- [35] Amaya, A. (2000). Efecto de las variables hidrológicas sobre la colonización y deriva de macroinvertebrados en un río tropical. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, 176p.
- [36] Mateus., S, Palacios. N. (2020). Los moluscos dulceacuícolas (Mollusca: Gastropoda - Bivalvia) del Museo de Historia Natural - Universidad Pedagógica Nacional (MHN - UPN). Trabajo de pregrado. Recuperado de: <http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/13186/Moluscos%20dulceacuicolas%20MHN%20-%20UPN..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [37] Konstantinov A.S. (2003) Chrysomelidae: aquatic leaf beetles of China (Coleoptera). In: Water beetles of China Vol. III. (Eds M.A. Jäch & L. Ji), 563–572. Zoologisch-Botanische Gesellschaft in Österreich and Wiener Coleopterologenverein, Wien, Österreich.
- [38] Tomanova, S. y Tedesco, P (2007). Tamaño corporal, tolerancia ecológica y potencial de bioindicación de la calidad del agua de *Anacroneturia* spp. (Plecoptera: Perlidae) en América del Sur. *Rev. biol. tropa* [en línea]. Vol. 55. 67-81. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/449/44955108.pdf>
- [39] Apella, M y Araujo, P. (2005). Microbiología de agua. Conceptos básicos. Tecnologías solares para la desinfección y contaminación del agua. Universidad Nacional de San Martín, 33-50.
- [40] Galar, M., Martínez, L., Sánchez, E. y López, E. (2006). Efecto de sedimentos naturales enriquecidos con zinc, en modelos aislados y en microcosmos, sobre tres especies de invertebrados bentónicos. *International Journal of Biology and Conservation*, pp. 452-460. Recuperado de: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442006000200022&lng=en&nrm=iso. ISSN 0034-7744.
- [41] Gómez, S. Salazar, C y Longo M. (2016). Diversidad y biomasa de macroinvertebrados asociados a cuatro tipos de sustratos en la laguna La Virginia, páramo Sumapaz, Colombia. *Biota Colombiana*, Vol. 17, 2, 20-38. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21068/C2016v17s02a02>