



## CALIDAD DE AGUA DEL RÍO TRES DE MAYO EN EL PARQUE NACIONAL TINGO MARÍA, SEGÚN LOS ÍNDICES H', BMWP/Col. y NSF


### WATER QUALITY OF THE TRES DE MAYO RIVER IN TINGO MARIA NATIONAL PARK, ACCORDING TO H', BMWP/Col. AND NSF INDICES


Yulisa Medina-Silva<sup>1</sup>; Manuel Ñique-Alvarez<sup>2\*</sup>; José Gil-Bacilio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Cañete. Lima, Perú.

Yulisa Medina Silva:  <https://orcid.org/0000-0002-0098-8667>

Manuel Ñique Alvarez:  <https://orcid.org/0000-0003-2922-4342>

José Gil Bacilio:  <https://orcid.org/0000-0002-4221-4555>

**Artículo original**

Recibido: 31 de marzo 2021

Aceptado: 04 de mayo 2021

#### Resumen

Se determinó la calidad del agua del río Tres de Mayo del Parque Nacional Tingo María mediante macroinvertebrados acuáticos e índices bióticos. Los muestreos se realizaron en dos etapas, en mayo y agosto del 2014, para las colectas de los macroinvertebrados se utilizó la red Surber, en cuatro estaciones de muestreo distribuidos a lo largo del cuerpo de agua, se tomaron muestras de agua para análisis en laboratorio y se tuvo en cuenta la actividad antrópica. De acuerdo al índice BMWP/Col, la calidad del agua fue mayormente aceptable entre estaciones de muestreo y la etapa de muestreo. Asimismo, existió variabilidad de la calidad del agua según los índices empleados (H', BMWP/Col. y NSF). Además, los parámetros evaluados cumplen la Categoría 4, Subcategoría E2 de los Estándares de Calidad Ambiental para agua de Perú.

**Palabras clave:** calidad de agua, macroinvertebrados, NSF, BMWP/Col., Shannon-Wiener, Tingo María.

#### Abstract

The water quality of the Tres de Mayo River in Tingo Maria National Park was determined using aquatic macroinvertebrates and biotic indices. Sampling was conducted in two stages, in May and August 2014, using the Surber network for macroinvertebrate collections at four sampling stations distributed along the water body, water samples were taken for laboratory analysis and anthropogenic activity was taken into account. According to the BMWP/Col index, water quality was mostly acceptable between sampling stations and sampling stage. Likewise, there was variability in water quality according to the indices used (H', BMWP/Col. and NSF). In addition, the parameters evaluated comply with Category 4, Subcategory E2 of the Environmental Quality Standards for water in Peru.

**Keywords:** water quality, macroinvertebrates, NSF, BMWP/Col, Shannon-Wiener, Tingo Maria.

\*Autor para correspondencia: E. mail: maniqueal@gmail.com.pe

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.01.01>

Citar como:

Medina-Silva, Y., Ñique-Alvarez, M., & Gil-Bacilio, J. 2021. Calidad de agua del río Tres de Mayo en el parque nacional Tingo María, según los índices H', BMWP/COL. y NSF. REBIOL, 41(1):3-15.

## 1. Introducción

La evaluación de la calidad del agua se ha realizado tradicionalmente en base a los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. Sin embargo, en los últimos años, muchos países han aceptado la inclusión de los macroinvertebrados para evaluar la calidad del agua, por el intercambio cíclico de materia y energía entre estos organismos y el ambiente abiótico y, por lo tanto, la biología y la química están estrechamente relacionadas; en la evaluación de las aguas naturales y contaminadas donde juegan papeles complementarios (Roldán-Pérez, 2016). Los macroinvertebrados acuáticos son una herramienta biológica para predecir un determinado daño ambiental, pues son bioindicadores que permiten evaluar y monitorear la calidad del agua mediante respuestas a los múltiples factores ambientales que componen o alteran el ecosistema (Alba-Tercedor, 1996).

Según Roldán-Pérez (2016), los macroinvertebrados se consideran como los mejores indicadores de calidad del agua porque son abundantes, de amplia distribución y fáciles de identificar y recolectar; son sedentarios en su mayoría y, por tanto, reflejan las condiciones de su hábitat; representan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo; proporcionan información para integrar efectos acumulativos; poseen ciclos de vida largos (semanas y/o meses); pueden cultivarse en el laboratorio; responden rápidamente a los tensores ambientales y varían poco genéticamente (Roldán, 1999; Roldán, 2003). En las últimas décadas los ríos han estado sometidos a fuertes presiones de explotación y cambio en el uso de la tierra, afectando la calidad de sus aguas en las cuencas hidrográficas (Branco, 1984). Así, la contaminación por materia orgánica, enriquecimiento en nutrientes, eliminación o degradación del bosque de ribera, rectificación o canalización de ríos, presencia de contaminantes inorgánicos y orgánicos persistentes afectan la calidad del agua y a las comunidades biológicas que habitan en ella (Angelier, 2002).

En la selva alta los ríos son abundantes, pero su calidad no ha sido lo suficientemente estudiada, tal es el caso de ausencia de estudios del río Tres de Mayo, el que constituye un elemento importante dentro de los recursos

hídricos del Parque Nacional Tingo María (PNTM), habiéndose considerado en su Plan Maestro 2017-2021 dentro de la Zona de uso turístico y recreativo Tipo I y el estudio de la calidad de agua está considerado como un objetivo ambiental (SERNANP, 2017). En ese sentido y debido a la gran importancia de conocer la calidad de agua de un recurso hídrico de un área natural protegida de selva alta y contribuir a su conservación, se consideró como objetivo evaluar la calidad del agua del río Tres de Mayo del PNTM según los índices H', BWWP/Col. y NSF.

## 2. Materiales y Métodos

### Área de estudio

El río Tres de Mayo se localiza en el borde sudoeste del Parque Nacional de Tingo María (PNTM), para desembocaren el río Huallaga; en el distrito de Mariano Dámaso Beraún, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco (SERNANP, 2017).

### Muestreo

El muestreo se realizó en dos etapas: Etapa1 (Et1): mayo de 2014 y la Etapa (Et2): agosto de 2014 y según SENAMHI (2019) a los meses muestreados le corresponden una precipitación promedio de 218,14 mm/mes y 108,47 mm/mes respectivamente. Se estandarizó los sitios de muestreo, en cuanto a sus características físicas se consideró el caudal y la profundidad, teniendo en cuenta para ello velocidades moderadas y poca profundidad; y se establecieron cuatro estaciones de muestreo distribuidas en el río Tres de Mayo (Tabla 1 y la Figura 1).

Con respecto a las estaciones de muestreo (EM), se tiene las siguientes características:

EM1: la margen derecha del río, es bosque primario y el margen izquierdo bosque secundario en transición, presentó una zona, sin actividad antrópica.

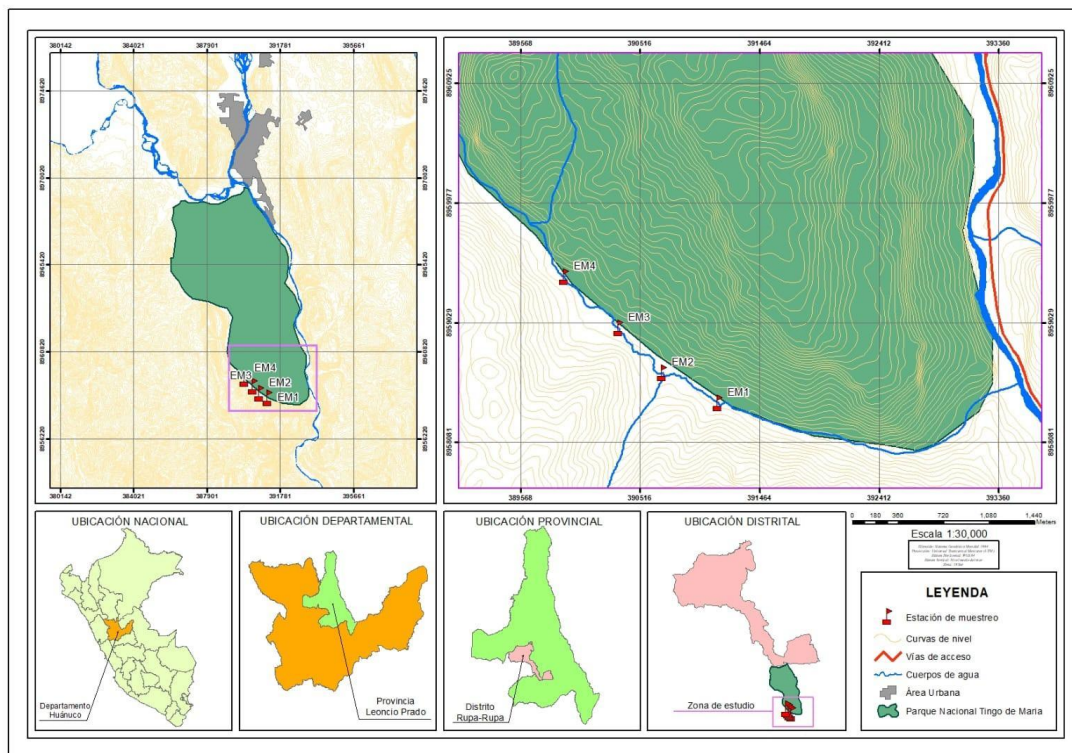
EM2: margen izquierda se presentó áreas deforestadas por actividades agrícolas, con actividad antrópica baja.

EM3: zona con presión antrópica moderada por la crianza de animales menores y usos del agua para actividades domésticas debido a la presencia de viviendas en ambos márgenes.

EM4: zona con presión antrópica notable y alterada, crianza de ganado vacuno y ovino en la franja marginal del río, escasa vegetación y además cultivos.

**Tabla 1.** Estaciones de muestreo en el río Tres de Mayo.

Estación de muestreo	Altitud (m.s.n.m.)	UTM
EM1	946	391133E ; 8958393N
EM2	968	390692E ; 8958631N
EM3	981	390343E ; 8958986N
EM4	995	389914E ; 8959390N



**Figura 1.** Ubicación de las estaciones de muestreo en el río Tres de Mayo.

Para el muestreo y toma de datos, se utilizaron diversos equipos y materiales: oxímetro marca Lamotte DO6, GPS marca Garmin modelo eTrex 30, potenciómetro-pH metro marca Extech, pinzas entomológicas, estereoscopio, alcohol al 90%, cámara digital, rotulador permanente y etiquetas resistentes a la humedad. Los macroinvertebrados fueron colectados usando la red Surber (ojo de malla < 500  $\mu\text{m}$  y 30 x 30 cm) y posteriormente, usando pinzas se depositaron en pequeños frascos con alcohol al 90%. Se consideró tres repeticiones por estación, las cuales fueron agrupadas para el análisis de datos. La recolección se realizó a lo largo de 10 m aproximadamente, considerando las características físicas de las zonas de muestreo, hasta no

observar organismos nuevos en el material recolectado, conforme lo indican Roldán (2017) y UNMSM-MHN (2014). Para la identificación de tales macroinvertebrados se utilizó el texto "Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua" por Álvarez (2005) y complementariamente la "Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la cuenca del río Ebro" de Oscoz et al. (2011). Posteriormente las muestras se colocaron en pequeños frascos (viales) con alcohol al 70%, debidamente rotulados, conforme lo indica Roldán (2017).

Para el muestreo y la determinación fisicoquímica del agua se consideró el protocolo de ANA, (2011) y el manual de

Severiche et al. (2013), el muestreo de agua se realizó en las etapas: Et1 y Et2 y en cuatro (04) estaciones de muestreo (Tabla 1 y Figura 1), y los análisis de DBO<sub>5</sub>, SST, coliformes fecales, turbidez, fosfatos y nitratos se realizaron en el Laboratorio Natura Analítica S.A.C. (acreditado por INACAL).

La diversidad de los macroinvertebrados acuáticos se estimó mediante el índice de Shannon-Wiener (H') y mediante la prueba estadística t de Student modificada por Hutcheson se determinaron las diferencias significativas entre los valores de H'. Asimismo, se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, para determinar si la abundancia entre épocas y estaciones de muestreo fue significativamente diferente.

Para la determinación del Índice Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col) se aplicaron los puntajes indicados por Roldán (2003) según grado de

sensibilidad a la contaminación (escala de 10 a 1) de las familias de macroinvertebrados acuáticos determinados por EM, los puntajes por familia fueron sumados para obtener el índice BMWP/Col. para cada estación y etapa de muestreo.

Para calcular el índice de National Sanitation Foundation (NSF), se tuvieron en cuenta los datos de los nueve parámetros de calidad de agua, los que fueron transformados a una escala adimensional (Qi) y aplicados los pesos relativos (Wi) siguiendo la metodología Schulze (2011) (Tabla 2), y teniendo en cuenta la ecuación 1 siguiente:

$$ICA_{NSF} = \sum_{i=1}^9 (Q_i \times W_i) \dots \dots \dots (1)$$

Donde: Qi: subíndice del parámetro i; Wi: peso relativo del parámetro i.

**Tabla 2.** Factores de ponderación para el cálculo del índice NSF

Parámetros	Unidades	Peso relativo (W)
Coliformes fecales	Col/100mL	0,16
Oxígeno disuelto	% saturación	0,17
pH	Unidades	0,11
DBO <sub>5</sub>	mg / L	0,11
SST	mg / L	0,07
Temperatura	°C	0,10
Turbidez	NTU	0,08
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> /L	0,10
Fosfatos	mg PO <sub>4</sub> /L	0,10

Fuente: Adaptado de Schulze (2011).

Asimismo, de acuerdo a Carvacho (2012) para establecer si los parámetros fisicoquímicos y biológicos en las estaciones de muestreo tienen relación con la estructura de la comunidad de macroinvertebrados, se realizó el análisis de componentes principales (ACP), el que evaluó la información procedente de todos los muestreos y que se describen en la Tabla 6.

Para el cálculo del índice de Shannon-Wiener (H'), la prueba estadística t de Student modificada por Hutcheson, la prueba no paramétrica de Mann-Whitney y el análisis de componentes principales (ACP) se utilizó el software PAST 3.14 (Hammer et al., 2001).

### 3. Resultados

#### Comunidad acuática de macroinvertebrados

En las estaciones de muestreo se colectaron 411 individuos que corresponden a 3 clases, 9 órdenes y 18 familias, como se detalla en la Tabla 3.

En la Et1 (Tabla 3 y Figura 2), de los individuos colectados en la EM1, el 31,7% corresponde a la familia Baetidae, el 20,6% a la familia Perlidae y el 1,6%, representaron las familias Oligoneuriidae, Calamoceratidae, Odontoceridae, Naucoridae, Planorbidae y Planariidae, mientras que, los macroinvertebrados colectados en la EM2 el 27,9% fue de las familias Baetidae y Perlidae (24,6%), presentando

menor composición las familias Odontoceridae y Elmidae con 1,6%.

Mientras que en la EM3 las familias Baetidae y Psephenidae tienen mayor abundancia (20,3% cada una), presentándose en menor composición las familias Oligoneuriidae, Calamoceratidae, Coenagrionidae y Nepidae con 1,6% cada una; y en la estación de muestreo EM4 predominó la familia Perlidae con 28,9% seguido por la familia Baetidae (23,2%); la menor composición

corresponde a las familias Coenagrionidae y Aeshnidae con el 2,9% del total.

En la Et2 (Tabla 3 y Figura 3) la EM1, el 26,1% de los individuos colectados corresponden a la familia Perlidae, presentándose en menor abundancia la familia Planariidae del orden Tricladida con 2,2% y la EM2 estuvo representado por la familia Baetidae en 40,6%, presentándose en menor composición las familias Oligoneuriidae y Odontoceridae con 3,1% cada uno.

Tabla 3. Macroinvertebrados acuáticos por mes de evaluación y estación de muestreo (EM).

PHYLLUM	Clase	ORDEN / Familia	Mayo (Et1)				Agosto (Et2)				TOTAL
			EM1	EM2	EM3	EM4	EM1	EM2	EM3	EM4	
Arthropoda	Insecta	EPHEMEROPTERA									
		Baetidae	20	17	13	16	7	13	14	10	110
		Oligoneuriidae	1	0	1	0	2	1	0	0	5
		PLECOPTERA									
		Perlidae	13	15	11	20	12	5	14	10	100
		TRICHOPTERA									
		Hydropsychidae	7	0	2	2	0	2	2	1	16
		Leptoceridae	2	5	7	7	2	0	1	2	26
		Calamoceratidae	1	5	1	0	0	0	0	0	7
		Helicopsychidae	3	0	0	0	2	0	0	1	6
		Odontoceridae	1	1	0	0	0	1	0	0	3
		ODONATA									
		Coenagrionidae	0	0	1	1	2	0	2	0	6
		Calopterygidae	0	0	2	0	3	0	2	0	7
		Aeshnidae	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		COLEOPTERA									
		Elmidae	0	1	3	2	0	1	1	0	8
		Psephenidae	5	11	13	6	8	4	5	5	57
		HEMIPTERA									
		Naucoridae	1	1	0	0	0	0	0	0	2
Nepidae	0	0	1	0	0	0	0	0	1		
MEGALOPTERA											
Corydalidae	7	2	4	6	4	3	0	5	31		
Mollusca	Gastropoda	MESOGASTROPODA									
		Planorbidae	1	0	5	8	3	0	0	0	17
Platyhelminthes	Turbellaria	TRICLADIDA									
		Planariidae	1	3	0	0	1	2	1	0	8

Asimismo, para la EM3 se determinó que los individuos colectados correspondían a las familias Baetidae y Perlidae en un 33,3%, presentando menor composición las familias Leptoceridae, Elmidae y Planariidae con 2,4% cada una y

la EM4 se representó por las familias Baetidae y Perlidae con 29,4% cada una, presentando menor composición las familias Hydropsychidae y Helicopsychidae con 2,9% cada una.

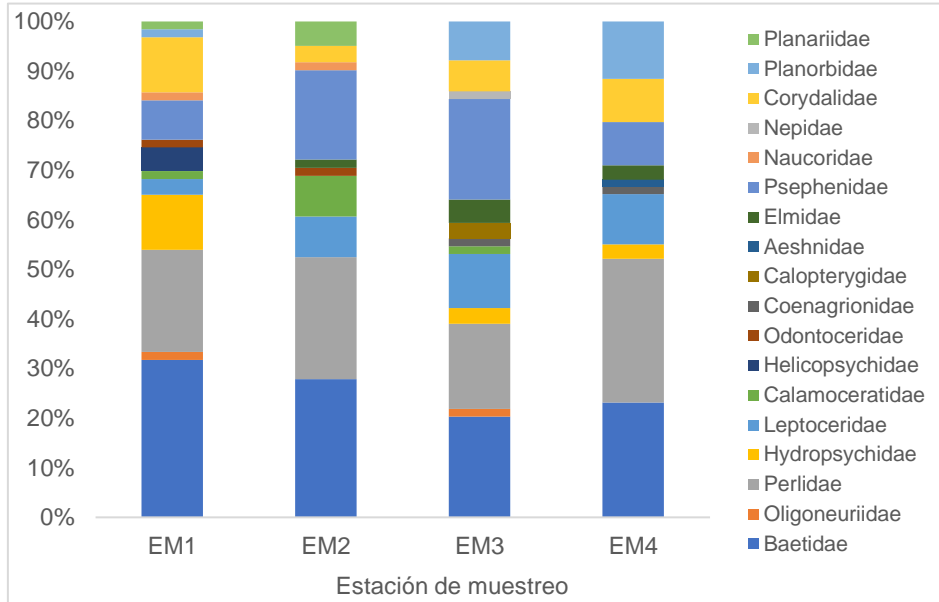


Figura 2. Porcentaje de familias de macroinvertebrados acuáticos por estación de muestreo en Et1

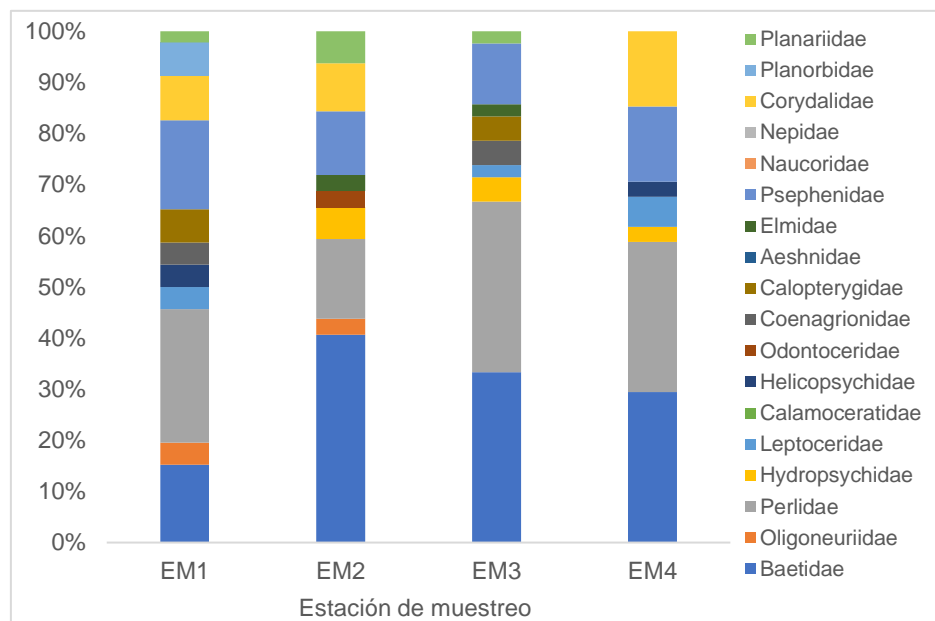


Figura 3. Porcentaje de familias de macroinvertebrados acuáticos por estación de muestreo en Et2.

Índice de diversidad según Shannon-Wiener (H')

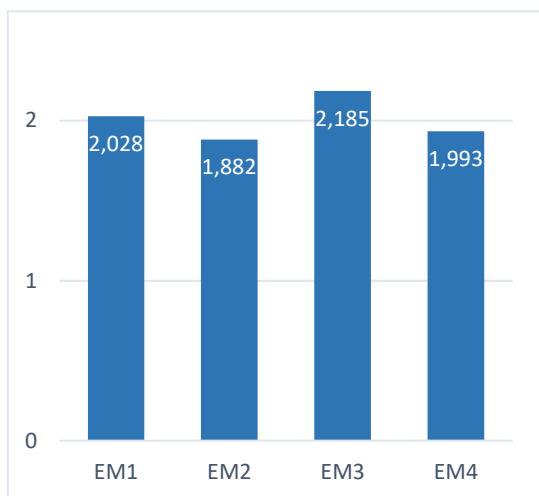


Figura 4. Índices H' nats/ind. por estación de muestreo en la Et1.

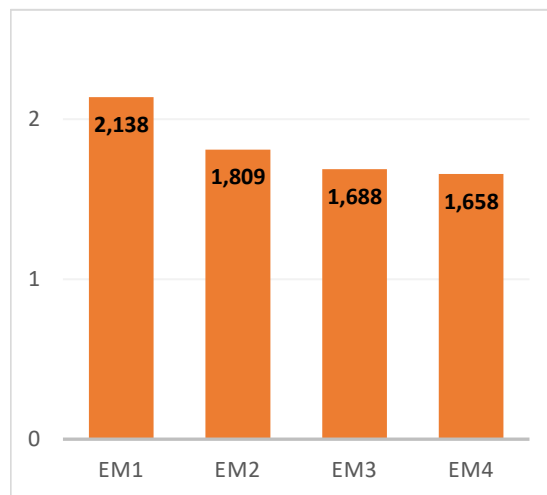


Figura 5. Índices H' nats/ind. por estación de muestreo en la Et2.

Según la prueba de *t* de Hutcheson, EM3 en la Et1 tiene el mayor valor de H', pero declina en Et2, existiendo diferencia significativa entre los valores de H' de la misma estación de muestreo ( $t=2,76$ ;  $p=0,007$ ); asimismo, en la Figura 5 (Et2) se muestra que EM1 tiene el mayor valor de H', pero solo es significativamente diferente a las estaciones EM3 y EM4 ( $t=2,42$ ;  $p=0,02$ ;  $t=2,88$ ;  $p=0,005$  respectivamente) y respecto a los valores totales de H' de

los meses de mayo (2,18) y agosto (2,03) se determinó que no existen diferencias significativas ( $t=-1,487$ ;  $p=0,1378$ ).

Índice BMWP/Col. del río Tres de Mayo

Con las familias de macroinvertebrados identificados y haciendo uso de los puntajes de sensibilidad a la contaminación, propuestos por Roldán (2003) y Roldán & Ramírez (2008), se calcularon los índices BMWP/Col., los que se muestran en las Tablas 4 y 5.





Tabla 4. Clasificación de las aguas, significado ecológico y colores según índice BMWP Col. por estación de muestreo en mayo (Et1).

Estación de muestreo	Clase	Calidad	Valor de BMWP/Col.	Color
EM1	I	Buena	106	
EM2	II	Aceptable	81	
EM3	II	Aceptable	99	
EM4	II	Aceptable	73	

Al comparar la etapa de evaluación y estaciones de muestreo (Tablas 4 y 5), la calidad del agua varía, así tenemos que la EM1 en el Et1 es de calidad buena (clase I), en la Et2 su calidad de agua es aceptable (clase II) lo que muestra que, el agua de dicha estación de muestreo de muy limpias a limpias pasa a aguas ligeramente

contaminadas; y respecto la EM4 que durante la Et1 contenía aguas ligeramente contaminadas (calidad aceptable y de clase II) varió para la Et2, a aguas moderadamente contaminadas de calidad dudosa y clase III representado por el color amarillo.

**Tabla 5.** Clasificación de las aguas, significado ecológico y colores según índice BMWP Col. por estación de muestreo en agosto (Et2).

Estación de muestreo	Clase	Calidad	Valor de BMWP/Col.	Color
EM1	II	Aceptable	85	
EM2	II	Aceptable	74	
EM3	II	Aceptable	70	
EM4	III	Dudosa	57	

**Índice de calidad de agua National Sanitation Foundation (NSF) del río Tres de Mayo-**

En la Tabla 6, se presentan los valores fisicoquímicos y microbiológicos por mes y estación de muestreo, los que fueron ponderados con los pesos relativos de la Tabla 2 y obtener el índice de calidad según NSF.

En Et1, el mayor valor calculado del índice es 81 correspondiente a la EM1 y EM2, seguido de E3 y E4, con valores de 80 y 79 respectivamente, cuya clasificación de calidad del agua para todas las estaciones es buena bajo la escala de color verde como se muestra en la Tabla .

**Tabla 6.** Los valores fisicoquímicos y microbiológicos por mes y estación de muestreo.

Mes	Estación de muestreo	pH	O.D. (% saturación)	Temperatura °C	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	Coliformes fecales (Col/100mL)	Turbidez NTU	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)
Mayo (Et1)	EM1	8,9	88	20,4	2,58	240	33	1	0,05	0,63
	EM2	8,8	86	20,3	1,56	270	23	1,2	0,08	0,59
	EM3	8,7	83	20,1	1,08	210	78	0,9	0,06	0,57
	EM4	7,6	75	20,2	0,94	210	107	1,8	0,22	0,36
Agosto (Et2)	EM1	8,9	84	20,7	1,69	225	31	0,8	0,08	0,71
	EM2	8,8	82	21,2	1,58	260	22	0,8	0,22	0,6
	EM3	8,7	79	22	0,72	165	91	0,6	0,21	0,57
	EM4	8,4	70	21,3	0,94	170	110	0,7	0,15	0,3

**Tabla 7.** Valor del índice NSF mayo (Et1).









Estación de muestreo	Valor del índice	Clasificación	Escala de color
EM1	81	Buena	
EM2	81	Buena	
EM3	80	Buena	
EM4	79	Buena	



Tabla 8. Valor del índice NSF agosto (Et2).

Estación de muestreo	Valor del índice	Clasificación	Escala de color
EM1	79	Buena	
EM2	82	Buena	
EM3	81	Buena	
EM4	79	Buena	

La Tabla 8, indica que el mayor valor calculado del índice NSF es 82 correspondiente a la EM2; presentando el menor valor calculado en la estación de EM1 y EM4, cuya clasificación de calidad del agua es buena bajo la escala de color verde.

Comparando los valores del índice por estaciones de muestreo en el tiempo, estos varían en algunos casos; la EM1 presenta como valor de índice 81 en Et1, mientras que en Et2 el valor del índice calculado disminuye a 79, presentando en ambas etapas una clasificación de calidad buena; en la EM2 y EM3, el valor de NSF incrementa en una unidad en ambas etapas evaluadas, denotando una clasificación de calidad buena; mientras que el valor del índice determinado en ambas etapas de la EM4 no varía en ambas etapas de evaluación, presentando también una clasificación de calidad buena bajo la escala de color verde.

#### Composición y distribución de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en relación a las variables ambientales

La Figura 6 del ACP explica que, durante la Et1, las variables con mayor relación con los individuos reportados: demanda bioquímica de oxígeno, temperatura, turbidez y coliformes fecales, que en su mayoría afectan de forma positiva a organismos como Baetidae, Hydropsychidae, Perlidae, Planorbidae y Corydalidae; esto indica que, a mayores valores de estas variables, mayor sería la

abundancia de estos organismos. Los nitratos y sólidos totales por su parte, influyen en el establecimiento de organismos como Planariidae y Calamoceratidae bajo una relación inversamente proporcional con las variables en mención. Así mismo, se puede observar la presencia de estos de manera independiente sin la influencia de parámetros fisicoquímicos, como es el caso de las familias Leptoceridae, Elmidae y Psephenidae.

De acuerdo a la Figura 7, durante la Et2, las familias de macroinvertebrados relacionadas de forma directamente proporcional con el incremento de los valores de las variables: sólidos totales, nitratos, pH, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno y fosfatos, son Oligoneuriidae, Planariidae, Hydropsychidae y Baetidae; asimismo, las familias que presentan relación inversamente proporcional con las variables antes señaladas, son: Calopterygidae, Corydalidae, Psephenidae, Helicopsychidae, Perlidae y Leptoceridae, quienes además están relacionadas directamente con el oxígeno disuelto, la temperatura y coliformes fecales. Y se muestra una correlación entre la presencia o ausencia de determinadas familias y las concentraciones de algunos parámetros evaluados, mostrando el grado de tolerancia de cada familia frente a la contaminación, en ese sentido los macroinvertebrados hallados proveen información sobre la calidad ambiental del agua, por lo que pueden considerarse como buenos indicadores de la alteración del río Tres de Mayo.

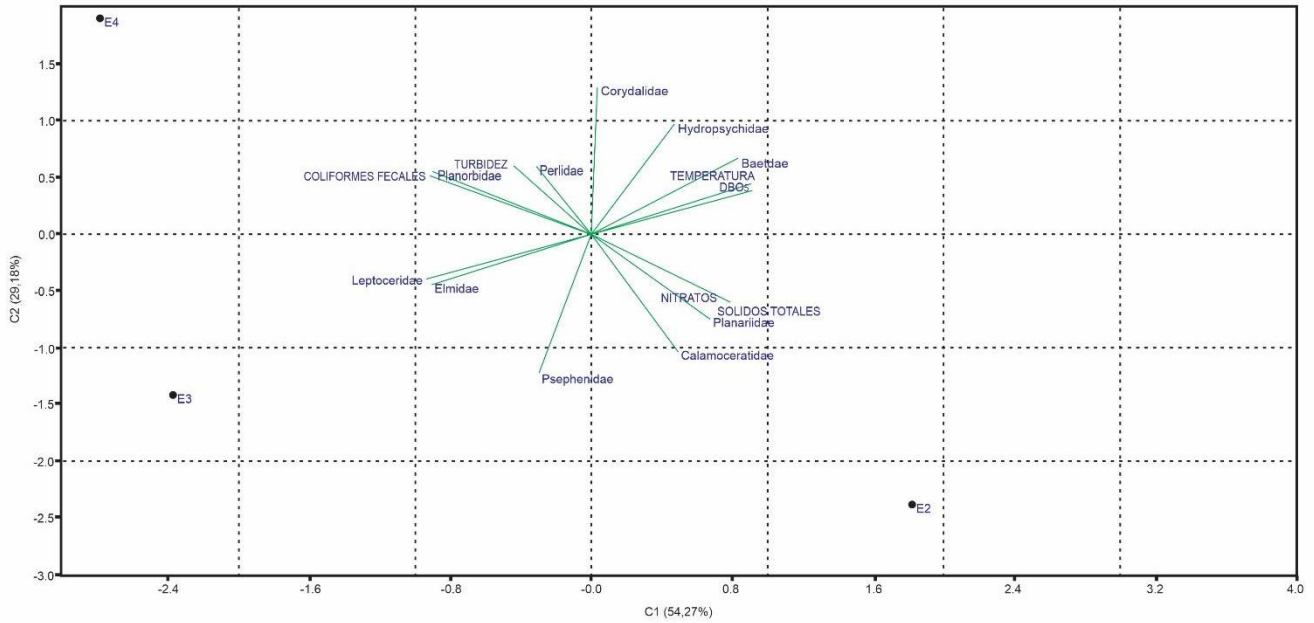


Figura 6. Análisis de componentes principales (ACP), mayo.

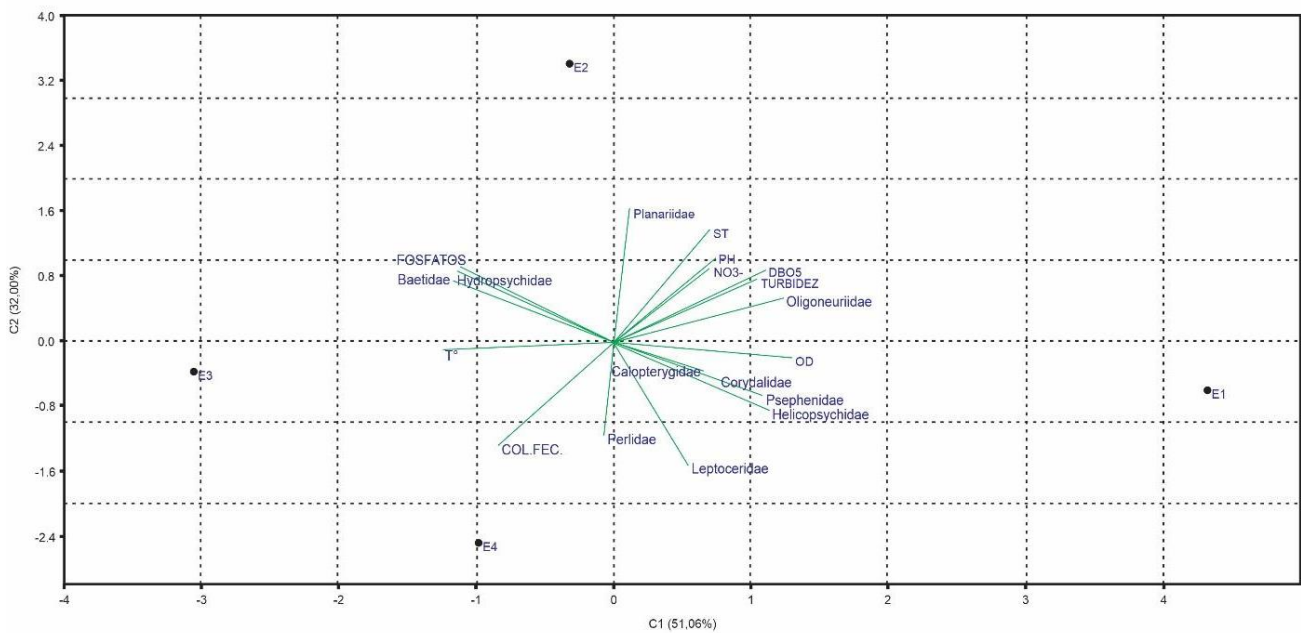


Figura 7. Análisis de componentes principales (ACP), agosto.

#### 4. Discusión

Hubo variación del número de individuos a nivel de familias en cada una de las estaciones de muestreo, siendo EM4 en Et1 la que tiene mayor abundancia, así como la EM1 en agosto (Tabla 3), pero sin diferencias significativas respecto a la abundancia dentro y entre las estaciones para los muestreados (prueba estadística Mann-Whitney); al respecto, Castellón (2013) indica que la modificación en

el sistema se da por influencias humanas o ambientales; y las especies que se encuentran en un punto y momento dado, deben de adaptarse a dichos cambios o desaparecer por la intolerancia a las nuevas condiciones ambientales, lo que conllevaría a la desaparición de ciertos grupos y el aumento de otros, es por ello que en el estudio realizado se logra observar que las familias Baetidae y Perlidae tuvieron la más alta abundancia en las cuatro

estaciones de muestreo (125 individuos) en Et1, disminuyendo en Et2 (85 individuos).

En las cuatro estaciones de muestreo se colectaron macroinvertebrados de familias pertenecientes a los órdenes Plecoptera y Ephemeroptera que tienen un puntaje máximo de sensibilidad a la contaminación Figueroa et al. (2003) lo que indica agua de buena calidad; así mismo, la presencia de organismos medianamente tolerantes a la contaminación fue mínima, representado por la familia Planariidae del orden Tricladida, ya que no estuvo presente en todas las estaciones de muestreo durante las dos etapas evaluadas, como se aprecia en la Tabla 3.

Por otro lado, las condiciones abióticas, interacciones biológicas, heterogeneidad ambiental y el microhábitat son factores que explican la presencia de las comunidades en un lugar determinado (Poof, 1997), así tenemos que sitios sin alteración por actividad humana presentan abundante riqueza y diversidad taxonómica, principalmente insectos de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (Jara, 2002), coincidiendo con lo observado en cada estación del río Tres de Mayo, durante la primera y segunda etapa de evaluación, en los cuales hubo presencia en abundancia de individuos a nivel de familia de los órdenes Plecoptera y Ephemeroptera. En cambio, en aquellos lugares donde existe una importante actividad antrópica, presentarían una menor riqueza y diversidad taxonómica, generalmente la comunidad sería representada por algunos dípteros, coleópteros, gusanos oligoquetos, moluscos, entre otros (Jara, 2002), por lo que en el estudio destacó la presencia del orden Coleoptera en casi todas las estaciones de muestreo, pero representado por un menor número de individuos a nivel de la familia Elmidae, tal como se ilustra en la Tabla 3. Según los valores de diversidad según Shannon-Wiener, para la Et1 (Figura 4) todas las estaciones de muestreo tienen valores de  $H'$  que van de 1,882 nats/ind. a 2,185 nats/indiv. y para Et2 (Figura 5) las cuatro estaciones de muestreo reportan valores de  $H'$  que están en el rango de 2,138 nats/indiv. a 1,658 nats/indiv. que según Roldán y Ramírez (2008) serían aguas medianamente contaminadas, lo que es corroborado por Wilhm & Dorris (1968) que por los valores de  $H'$ , sería un grado de contaminación moderada.

Respecto a las variables físicas evaluadas, tenemos que en la mayoría de los ecosistemas acuáticos naturales el pH oscila entre 5,0 y 9,0 (Hahn et al., 2009) y, de acuerdo al estudio realizado, el pH en el que se encontró la mayor diversidad de macroinvertebrados pertenece a la EM3 con 8,7. Asimismo, los valores registrados de oxígeno disuelto corresponden a 9,55 mg/L, siendo superior al valor ECA para la conservación del ambiente acuático indicado por MINAM (2017) lo que permite el desarrollo de organismos que requieren aguas limpias con altos valores de este parámetro, coincidiendo con elevada abundancia de las familias Baetidae y Perlidae.

En el estudio realizado, los valores del índice BMWP/Col, varían según la zona evaluada, así tenemos que la EM4 identificada como zona con presión antrópica alta (Tabla 5), tiene una puntuación de 57 en agosto, lo cual representa una agua de calidad dudosa, en relación a la EM3, EM2 y EM1, identificados como zonas con presión antrópica moderada, baja y nula respectivamente y representan una calidad de agua ligeramente contaminadas, mientras que en mayo (Et1) la calidad varió de buena a aceptable (Tabla 4); por lo que el valor del índice BMWP/col guarda una relación inversamente proporcional con la actividad antrópica, lo que es corroborado por Roldán y Ramírez (2008) quienes indican que la agricultura moderna se ha convertido en una de las más graves amenazas para la vida en el agua y además, consideran que las perturbaciones generan cambios en la composición de especies de la comunidad acuática.

Al respecto, las familias Baetidae y Perlidae aportaron el mayor número de individuos (Tabla 3) y presentan altos puntajes de sensibilidad de la contaminación (7 y 10 respectivamente) por lo que Roldán (2003) manifiesta que son indicadores de aguas de buena calidad; además estuvieron presente en las cuatro estaciones de muestreo y en los dos periodos evaluados.

Las características fisicoquímicas de las estaciones de muestreo fueron evaluadas y comparadas durante las dos etapas de muestreo realizadas en mayo y agosto 2014 (Tabla 6); los resultados indicados en el mes de mayo, son asociados a periodos de disminución de las lluvias y los de agosto se asocian a periodos de estiaje (SENAMHI, 2019), pero esto no generó variación en la calidad de agua de acuerdo al índice NSF, que reporta una calidad de agua

buena durante ambas etapas de evaluación (Tablas 7 y 8); a diferencia de Gil (2014), quien, en su estudio realizado para aguas de ríos de montaña indica que el índice de calidad del agua (NSF) fue mayor en la época de sequía (mayo) y menor en la época de lluvias (noviembre).

En cuanto al Análisis de Componentes Principales (ACP), la primera etapa evaluada (Figura 6), presentó una variación explicada en base a la dinámica fisicoquímica del río Tres de Mayo en los dos primeros componentes del 83,45%, porcentaje referido como alto; en donde las variables como: DBO<sub>5</sub>, temperatura (°C), turbidez y coliformes fecales, se encuentran afectando de forma positiva a organismos como Baetidae, Hydropsychidae, Perlidae, Planorbidae y Corydalidae; indicando que a mayores valores de estas variables en el medio, mayor puede llegar a ser la abundancia reportada por estos organismos; al respecto, los estudios realizados por Corpocaldas-PROAGUA (2005) y Machado (2001) citados por Hahn et al. (2009) indican que las familias Baetidae y Planorbidae están presentes en altos niveles de oxígeno, reportado en su estudio realizado en una estación piscícola ubicada en un bosque húmedo subtropical con elevación de 1 050 m.s.n.m. y precipitaciones anuales de 2377 mm, similar al ámbito en el que se desarrolló la investigación. Por otro lado, cabe mencionar que la familia Baetidae se encuentra distribuida en las cuatro estaciones de muestreo a lo largo del cuerpo de agua evaluado.

En el Análisis de Componentes Principales desarrollado por Gil (2014), determina que las variables que tuvieron mayor influencia en el establecimiento y composición de macroinvertebrados fueron los nitritos, nitratos y el oxígeno disuelto, generando una relación directamente proporcional a las familias Leptohyphidae, Glossosomatidae e Hydrobiidae, e inversamente proporcional con las familias Baetidae y Chironomidae; pero para la presente investigación durante la segunda etapa muestreada (Figura 7), los organismos de las familias Oligoneuriidae, Planariidae, Hydropsychidae y Baetidae se encuentran relacionadas de forma directamente proporcional con el aumento de los valores de sólidos totales, nitratos, pH, turbidez, demanda bioquímica de

oxígeno y fosfatos. Asimismo, con respecto a los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua de Perú, se encontró que los parámetros evaluados están dentro de los valores establecidos para agua Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, Subcategoría E2: Ríos de selva (MINAM, 2017). Estos resultados apoyan lo encontrado con el índice biótico BMWP, donde el río Tres de Mayo presenta en general una calidad aceptable.

## 5. Conclusiones

De acuerdo al índice BMWP/Col, la calidad del agua es mayormente aceptable entre estaciones de muestreo y la etapa de muestreo. Todas las estaciones de muestreo y etapas de muestreo, según Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), están medianamente contaminadas. Según el índice NSF, la calidad del agua se clasifica como buena en las diferentes estaciones y etapas muestreadas.

La presencia de las familias Baetidae, Hydropsychidae, Perlidae, Planorbidae y Corydalidae se relacionan de manera positiva con el oxígeno disuelto, temperatura, turbidez y coliformes fecales en mayo. Asimismo, en la segunda etapa de muestreo, las familias Oligoneuriidae, Planariidae, Hydropsychidae y Baetidae se relacionan con los sólidos totales, nitratos, pH, turbidez, DBO<sub>5</sub> y fosfatos. Los parámetros evaluados cumplen con el ECA para agua de Perú, en la categoría: conservación del ambiente acuático y subcategoría: ríos de la selva.

## 6. Contribución de los autores

Yulisa Medina Silva: Concepción, diseño, adquisición de datos, análisis e interpretación de los datos, y aprobación definitiva de la versión que presenta.

Manuel Ñique Alvarez: Adquisición de datos, análisis y la interpretación de los datos, la revisión crítica del contenido intelectual y aprobación definitiva de la versión que se presenta.

José Gil Bacilio: Análisis de los datos, el borrador del artículo y revisión crítica del contenido intelectual.

## 7. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

## 8. Referencias bibliográficas

- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. In: IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Vol. II, 203-213.
- Alvarez, L. (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.
- ANA (2011) Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.
- Angelier, E. (2002). Ecología de las aguas corrientes. Editorial Acribia S.A.
- Branco, S.M. (1984). Limnología sanitaria. Estudio de la polución de aguas continentales. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos.
- Carvacho, C. (2012). Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile. [Trabajo de Investigación, Máster Oficial, Universitat de Barcelona].
- Castellón, R. (2013). Evaluación rápida de la calidad del agua utilizando macroinvertebrados acuáticos durante la temporada lluviosa en la microcuenca "El Chimbo". [Diplomado de Pos Grado, Universidad Nacional Autónoma de Honduras].
- Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. & Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76 (2), 275-285.
- Gil, J. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa. [Tesis Maestría, Universidad de Manizales] RIDUM.
- Hahn, C., Ricardo, D., Grajales, A., Duque, G., & Serna, L. (2009). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, Municipio de Palestina, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 13(2), 89-105.
- Hammer, Ø., Harper, D.A. & Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1),1-9.
- Jara, C. (2002). Evaluación de la existencia de insectos bioindicadores de la calidad del agua en zonas rítrónicas y potámicas de tres ríos de la zona semiárida de Chile [Tesis Licenciatura, Universidad de Chile].
- MINAM (Ministerio del Ambiente) (2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Lima, Perú.
- Oscoz, J., Galicia, D., & Miranda, R. (2011). Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la cuenca del río Ebro. Zaragoza: Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Poof N. (1997). Landscape filters and species traits: Toward mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 16(2), 391- 409.
- Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 23 (88), 375-387.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, propuesta para el uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (2016) Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, 40(155), 254-274.
- Roldán, G. (2017). Contribución al conocimiento de las ninfas de los efemerópteros (clase; Insecta, orden: Ephemeroptera) en el departamento de Antioquia, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 14(51), 3-13.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. (2a. ed.) Editorial Universidad de Antioquia.
- Schulze, D. (2011). Des Moines River Water Quality Network (DMRWQN). <http://home.eng.iastate.edu/~dslutz/dmrwqn/dmrwqn.html>
- SENAMHI. (19 de marzo 2019). Promedio de temperatura normal para Tingo María.
- SERNANP. (2017). Resolución Presidencial N° 90-2017-SERNANP. - Aprueban el Plan Maestro del Parque Nacional Tingo María, período 2017-2021 y nueva delimitación de zona de amortiguamiento.
- Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso.
- UNMSM-MHN. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. Ministerio del Ambiente.
- Wilhm, J., & Dorris, T. (1968). Biological parameters for water quality criteria. *Bioscience*, 18(6), 477-481.