



## MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS INDICADORES DE CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA DE LAGUNAS ALTOANDINAS, LA LIBERTAD-PERÚ

### MACROINVERTEBRATES BENTONS BIOLOGICAL QUALITY INDICATORS OF THE WATER OF HIGH ALTITUDE ANDEAN LAGOONS, LA LIBERTAD-PERU

Andrés Rodríguez-Castillo<sup>1\*</sup>; Judith Roldán-Rodríguez<sup>2</sup>; Geiner Manuel Bopp-Vidal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Pesquería, Laboratorio de Limnología, Universidad Nacional de Trujillo, Jr. San Martín N°341, Trujillo, Perú.

<sup>2</sup>Departamento de Microbiología y Parasitología, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

Andrés Rodríguez-Castillo:



<https://orcid.org/0000-0002-4656-9871>

Judith Roldán-Rodríguez:



<https://orcid.org/0000-0002-1283-6951>

Geiner Manuel Bopp-Vidal:



<https://orcid.org/0000-0002-7788-2131>

**Artículo original**

Recibido: 28 de setiembre 2020

Aceptado: 18 de mayo 2021

#### Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar la calidad del agua en las lagunas altoandinas, El Toro y Los Ángeles del distrito de Quiruvilca, La Libertad-Perú, durante 2014-2017, utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y aplicando los índices bióticos BMWP e IBA. Se colectaron macroinvertebrados acuáticos con una red Surber de 250 µm y fijados con alcohol al 96%; se registraron parámetros fisicoquímicos in situ con un multiparamétrico HACH, también se muestrearon metales pesados de manera simultánea a la toma de muestras biológicas. Se encontró que en ambas lagunas las familias Corixidae y Districidae fueron las más frecuentes; la valoración según el índice BMWP e IBA, determinó que la calidad del agua de la laguna El Toro se encontró desde moderadamente contaminada hasta muy contaminada; mientras que la laguna Los Ángeles desde ligeramente contaminada hasta moderadamente contaminada. Algunos parámetros fisicoquímicos importantes no son conformes según los ECA-Agua: Laguna El Toro tuvo pH (6,4), nitrógeno total (1,26 mg/L) y plomo (0,0104 mg/L); Laguna Los Ángeles registró un pH (4,9), nitrógeno total (1,26 mg/L) y plomo (0,00583 mg/L). Por lo que se concluye que la calidad biológica del agua de las lagunas El Toro y Los Ángeles mediante el índice biótico BMWP y el ABI son similares; siendo aguas muy contaminadas - mala calidad (temporada seca) y moderadamente contaminada-regular (temporada lluviosa) en la Laguna El Toro; así como moderadamente contaminada-regular (temporada seca) y ligeramente contaminada-buena (temporada lluviosa) en la Laguna Los Ángeles, durante el periodo de monitoreo.

**Palabras clave:** ABI, BMWP, Bioindicadores, lagunas altoandinas, macroinvertebrados acuáticos.

#### Abstract

The objective of this work was to determine the water quality in the lagoons, El Toro and Los Angeles of the district of Quiruvilca, La Libertad-Peru, during 2014-2017, using aquatic macroinvertebrates as bioindicators and applying the biotic BMWP and IBA indices. Aquatic macroinvertebrates were collected with a 250 µm Surber sampling network and fixed with 96% alcohol; in situ physicochemical parameters were recorded with a HACH multiparametric tester, heavy metals were also sampled simultaneously at biological sampling. It was found that in both lagoons the families Corixidae and Districidae were the most frequent; the valuation according to the BMWP and IBA index determined that the water quality of El Toro Lagoon was found to be moderately contaminated to highly contaminated; while Los Angeles Lagoon from slightly polluted to moderately polluted. Some important physicochemical parameters are not compliant according to THEE-Water: El Toro lagoon had pH (6.4), total nitrogen (1.26 mg/L) and lead (0.0104 mg/L); Los Angeles lagoon recorded pH (4.9), total nitrogen (1.26 mg/L) and lead (0.00583 mg/L). So it is concluded that the biological water quality of the El Toro and Los Angeles Lagoons using the biotic INDEX BMWP and the ABI are similar; both being highly polluted waters - in El Toro Lagoon poor quality (dry season) and moderately polluted to regular (rainy season); and in Los Angeles Lagoon, moderately contaminated to regular (dry season) and slightly polluted to good (rainy season), during the monitoring period.

**Keywords:** ABI, Bioindicators, BMWP, Aquatic macroinvertebrates, high altitude andean lagoons.

\*Autor de correspondencia: Email: [arodriguezc@unitru.edu.pe](mailto:arodriguezc@unitru.edu.pe)

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.01.09>

Citar como:

Rodríguez-Castillo, A., Roldán-Rodríguez, J., & Bopp-Vidal, G. 2021. Macroinvertebrados bentónicos indicadores de calidad biológica del agua de lagunas altoandinas, La Libertad-Perú. REBIOL, 41(1): 91-101.

## 1. Introducción

Los humedales altoandinos son ecosistemas frágiles multifuncionales con un alto grado de heterogeneidad ambiental (Guswa et al., 2014), a pesar de los múltiples beneficios y servicios que brindan, la salud de estos está siendo afectada por diversas presiones antropogénicas (Chapman et al., 2016; Van et al., 2015) causando impactos ambientales negativos en la calidad biológica del agua, biodiversidad y el estado trófico (Alam et al., 2017; Custodio et al., 2018).

La evaluación de la calidad del agua se ha realizado tradicionalmente basada en los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. Sin embargo, en los últimos años, muchos países han aceptado la inclusión de los macroinvertebrados para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos (Roldán-Pérez, 2016), convirtiéndose en uno de los principales componentes de la legislación a tener en cuenta a nivel mundial (Moya et al., 2011); debido a su ubicuidad como grupo funcional de alimentación y a la capacidad de algunos grupos para soportar condiciones hipóxicas (López-López & Sedeño-Díaz, 2015); permitiendo detectar puntos de alteración de la calidad del agua (Alba-Tercedor, 1996; Salcedo et al., 2013). El análisis de variables fisicoquímicas y el empleo de macroinvertebrados son métodos complementarios en los procesos de evaluación de las condiciones ambientales (Valverde et al., 2009).

Los macroinvertebrados bentónicos son organismos que en algún momento de su ciclo vital se encuentran en hábitats acuáticos, son retenidos por mallas de luz entre 200 y 500  $\mu\text{m}$  (Gómez & Salazar, 2015). Estos organismos tienen niveles de especialización o preferencia por ocupar microambientes específicos; como microhábitats rocosos, fangosos, de hojarasca, arena, limo o arcillas; a esto se añade la preferencia por ciertos aspectos físicos (hidrodinámicos) como la dinámica del agua y los flujos de corriente: zonas de corriente fuerte, media, débil o la presencia de elementos químicos. Por tanto, la presencia, abundancia y ausencia de estos organismos suelen indicar las condiciones del cuerpo de agua o de un sector de él (Terneus-Jácome & Yáñez, 2018).

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores (Roldán, 2003), debido a que solo requiere la identificación de los macroinvertebrados hasta el nivel de familia, asignándoles puntuaciones de acuerdo a la tolerancia de la contaminación orgánica de su hábitat (Huamán, 2019).

En la aplicación de BMWP es importante tener en cuenta la clase de los cuerpos de agua donde se utiliza, de allí es que existe adaptaciones de este parámetro biológico conociendo las características ecológicas locales. El Iberian Biological Monitoring Working Party (IBMWP), es utilizado para ríos de la Península Ibérica (Alba-Tercedor, 1996); en países de Latinoamérica como Colombia, Roldán (2003), adaptó el índice (BMWP/Col) como una aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos lóticos acompañado de parámetros fisicoquímicos; el BMWP-Cub adaptado para ríos cubanos (Muñoz-Riveaux et al., 2003) y BMWP(A) para Ecuador (Giacometti & Bersova, 2006) y en Costa Rica se ha estandarizado el BMWP-CR para

arroyos tropicales (Gutiérrez-Fonseca & Lorion, 2014); en Perú, Medina-Tafur et al. (2010) en base BMWP/Col y BMWP-CR adaptó el índice biótico de calidad del agua para ríos del norte del Perú (nPeBMWP).

El índice BMWP, también es utilizado para evaluar la calidad de agua en cuerpos de agua lénticos (Castellanos et al., 2017); como lagunas en México (Rosas-Acevedo et al., 2014; Rosas -Acevedo et al., 2016) y en diversos humedales naturales y artificiales; en Reino Unido en humedales de tratamiento de agua de mina (Batty et al., 2005); en Colombia, Castellanos et al. (2017), en un embalse de 8 m. de profundidad. Asimismo, Núñez & Frago (2020), utilizaron este índice para evaluar la eficiencia del sistema de lagunas de estabilización. En Irán, Nasirian (2014), concluyeron que los índices biológicos (BMWP) pueden utilizarse como herramientas valiosas para evaluar la calidad del agua de los humedales.

El Índice Biótico Andino (ABI) es una adaptación del índice BMWP para ríos altoandinos ubicados generalmente entre los 2 000 a 4 000 m.s.n.m., que incluye un menor número de familias de macroinvertebrados debido a que la altitud restringe la distribución de varias de ellas (Acosta et al., 2009; Ríos-Touma et al., 2014). Este índice también ha sido utilizado para evaluar la calidad de agua de 16 lagunas altoandinas de la cuenca del Mantaro y Río Rímac en Perú (Tapia et al., 2018).

La evaluación de la calidad de los sistemas lóticos y lénticos empleando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en el Perú data de los últimos veinte años (Alomía et al., 2017). Existe información del estudio de estos organismos mayormente en ríos altoandinos (Acosta et al., 2009; Medina-Tafur et al., 2013; Salcedo et al., 2013; Custodio & Chanamé, 2016); son pocos los trabajos realizados en sistemas lénticos. La presencia de factores condicionantes como densidad poblacional, actividades productivas y sistemas tecnológicos, han ocasionado conflictos intersectoriales, lo que ha motivado un creciente interés por conocer el estado de los ambientes acuáticos lénticos (Tapia et al., 2018).

Las lagunas altoandinas de la región La Libertad (Perú); están amenazadas por actividades antrópicas de carácter productivo e industrial siendo la actividad minera una de las principales responsables de la degradación de la calidad de agua en la región altoandina del Perú y una de las principales causas de los conflictos socioambientales. El conocer la salud de estos humedales, permitirá establecer estrategias para el manejo adecuado, conservación y gran potencial uso turístico; por ser un recurso del cual dependen, no solo la flora y la fauna, sino también pobladores, quienes utilizan directamente este recurso.

Las Lagunas El Toro y Los Ángeles están directamente influenciadas por la industria minera, agricultura, ganadería y las vías de comunicación (carreteras). Por lo que la finalidad del presente trabajo fue determinar la calidad biológica del agua en las lagunas altoandinas, El Toro y Los Ángeles del distrito de Quiruvilca, La Libertad - Perú, durante 2014-2017 a través de análisis de comunidades de macroinvertebrados bentónicos mediante los índices bióticos BMWP e IBA y sus características fisicoquímicas.

## 2. Material y Métodos

### Área de estudio

Las lagunas El Toro y Los Ángeles se encuentran ubicadas

cerca de un asiento minero y muy próxima a la línea del *divortium acuatum*, en la cordillera Occidental de los Andes Peruano, distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, región La Libertad; la unidad minera se extiende a ambos lados de la divisoria continental entre las vertientes del Atlántico y del Pacífico.

La laguna El Toro está situada a 4021 m.s.n.m. entre 7°59'12.90" S y 78°14' 53.13" W con un área de 5 hectáreas, allí están instaladas jaulas flotantes para la crianza de truchas; la laguna Los Ángeles se encuentra a 4 071 msnm, 7°58'58.83" S y 78°14'34.18" W.

#### Muestreo

Se realizaron muestreos durante dos etapas: la primera correspondió a los meses de febrero, marzo, abril y mayo (época lluviosa), la segunda etapa; a julio, agosto, setiembre y octubre (época seca) durante el periodo 2014 – 2017. En cada laguna se estableció dos zonas de muestreo cerca al desagüe y orilla.

#### Parámetros fisicoquímicos

De manera simultánea a cada colecta de macroinvertebrados, en cada punto de muestreo, se midieron parámetros fisicoquímicos in situ: temperatura, pH, conductividad eléctrica, transparencia y oxígeno disuelto, con ayuda de un medidor multiparámetro portátil (HACH); también se realizaron muestreo de metales pesados.

#### Colecta de macroinvertebrados y determinación taxonómica

Se extrajeron muestras de macroinvertebrados de los bentos en cada una de las estaciones de acuerdo a Darrigran et al. (2007) y Kuhlmann et al. (2012). Para ello, se utilizó una red Surber de apertura de malla de 250 µm de 0,9 m<sup>2</sup> colectando material de la zona litoral, con réplicas. También se colectó manualmente la fauna presente en las raíces de las plantas acuáticas y de las rocas ubicadas en cada estación. Los organismos recolectados se fijaron en recipientes de polipropileno con alcohol al 96%, etiquetado según la fecha de muestreo y estación. En el laboratorio las muestras fueron lavadas con un tamiz 250 µm de apertura de malla y luego se realizó la separación de los organismos que se conservaron en alcohol 70%. La determinación de los taxos fue a nivel de familia, mediante el uso de claves taxonómicas de macroinvertebrados bentónicos (Núñez & Fragoso, 2020). Para la identificación y clasificación de los ejemplares de macroinvertebrados se utilizó un ZEISS microscopio estereó zoom Stemi 508.

#### Valoración de la calidad biológica

La calidad biológica se valoró mediante el índice biótico Biological Monitoring Working Party, adaptado para Colombia (BMWP/col) (Roldán, 1999) y el Índice Biológico Andino (ABI) Acosta et al. (2009).

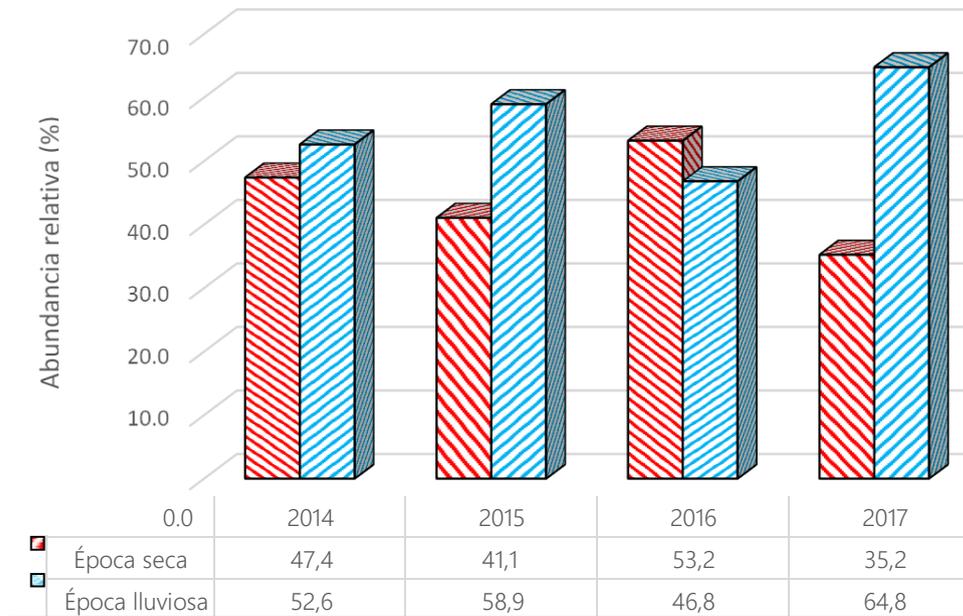
### 3. Resultados

En la tabla 1, Las familias Corixidae y Dystidae presentan el mayor porcentaje de abundancia en la época seca.

**Tabla 1.** Diversidad y abundancia (%) de macroinvertebrados acuáticos indicadores de calidad del agua de la Laguna El Toro, distrito Quiruvilca, provincia Santiago de Chuco; La Libertad 2014 - 2017, en época seca (ES) y época lluviosa (EL).

Familia	2014		2015		2016		2017	
	ES	EL	ES	EL	ES	EL	ES	EL
Corixidae	44	14	39	16	32	12	33	20
Dysticidae	23	9	31	10	25	20	24	13
Glossiphoniidae	0	11	0	13	0	3	0	7
Chironomidae	12	9	0	10	20	14	15	8
Planariidae	14	12	0	13	0	7	29	23
Hydrachnidae	0	15	0	0	11	0	0	0
Ostracoda	0	3	14	0	0	0	0	8
Tubificidae	0	4	5	0	0	9	0	7
Typulidae	0	13	0	0	0	6	0	8
Stratiomyidae	5	5	0	3	6	17	0	5
Ceratopogonidae	0	4	12	17	5	0	0	0
Ephydriidae	3	0	0	3	0	6	0	0
Hyalellidae	0	0	0	15	0	6	0	0
<b>TOTAL, FAMILIA</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>9</b>

En la figura 1, la laguna El Toro presenta mayor porcentaje de abundancia relativa de macroinvertebrados en época lluviosa en los años 2014, 2015 y 2017 con excepción del año 2016.



**Figura 1.** Abundancia relativa (%) de macroinvertebrados acuáticos indicadores de calidad de agua, recolectados en época seca y lluviosa de la laguna El Toro, distrito Quiruvilca, provincia Santiago de Chuco, La Libertad 2014 – 2017.

En la tabla 2, la laguna El Toro según el índice de calidad de agua (BMWP) presenta una condición de moderadamente contaminada a muy contaminada y según el Índice ABI la condición va de regular a mala.

**Tabla 2.** Calidad de agua según el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), adaptado para Colombia (BMWP/col, Roldán 1999) e Índice Biológico Andino (ABI), en la Laguna “El Toro”, distrito Quiruvilca, provincia Santiago de Chuco, 2014 – 2017.

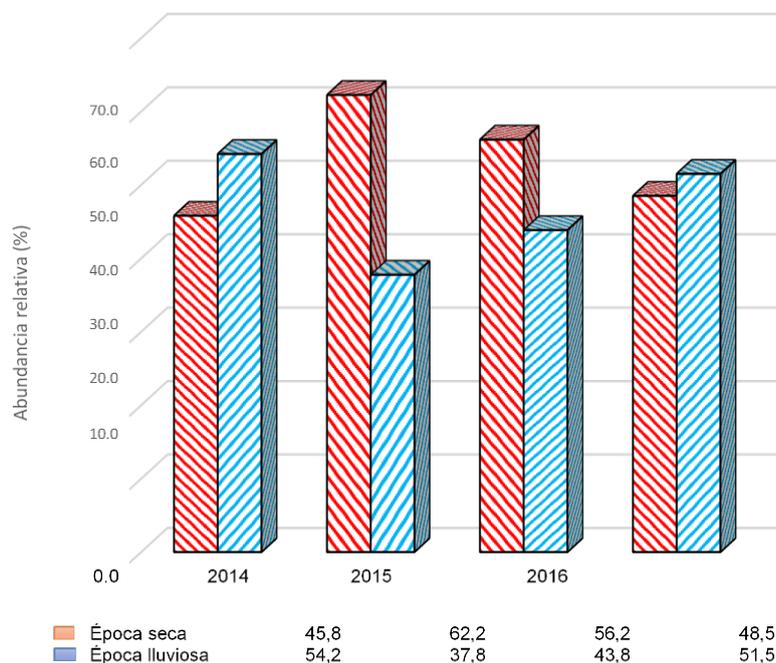
Año	Temporada	BMWP(DS)*	Condición	ABI(DS)*	Condición
2014	Seca	31+4,3	Muy contaminadas	21+3,9	Mala
	Lluviosa	47+6,2	Moderadamente contaminada	39+4,9	Regular
2015	Seca	24+4,9	Muy contaminadas	16+4,8	Mala
	Lluviosa	44+5,7	Moderadamente contaminada	34+5,3	Regular
2016	Seca	29+6,1	Muy contaminadas	22+5,3	Mala
	Lluviosa	45+5,0	Moderadamente contaminada	60 ± 3,9	Regular
2017	Seca	25+6,1	Muy contaminadas	15+5,9	Mala
	Lluviosa	40+3,7	Moderadamente contaminada	31+4,7	Regular

\*DS: Desviación estándar

**Tabla 3.** Diversidad y abundancia (%) de macroinvertebrados acuáticos indicadores de calidad de agua de la Laguna “Los Ángeles”, distrito Quiruvilca, provincia Santiago de Chuco; La Libertad 2014 - 2017, en época seca (ES) y época lluviosa (EL).

Familia	2014		2015		2016		2017	
	ES	EL	ES	EL	ES	EL	ES	EL
Corixidae	17	12	19	18	18	11	14	17
Dysticidae	22	11	22	12	17	14	7	11
Glossiphoniidae	0	9	0	15	0	3	0	6
Chironomidae	15	12	15	0	14	0	23	7
Planariidae	21	10	0	15	0	25	27	20
Hydrachnidae	0	12	0	0	19	15	0	10
Simuliidae	0	10	16	0	0	0	0	7
Ephydriidae	0	18	0	0	0	6	0	7
Ceratopogonidae	13	4	0	4	0	15	0	5
Goeridae	0	0	15	16	14	0	0	0
Lepidostomatidae	0	2	0	0	0	0	0	3
Sericostomatidae	12	0	0	3	0	5	0	2
Odontoceridae	0	0	0	0	0	0	0	2
Hyaellidae	0	0	12	17	2	6	28	0
Tubifidae	0	0	0	0	15	0	0	3
<b>TOTAL, FAMILIA</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>13</b>

En la figura 3, la laguna Los Ángeles presenta mayor porcentaje de abundancia relativa de macroinvertebrados en época seca y la menor abundancia relativa en época lluviosa, ambos porcentajes se dan en el 2015.



**Figura 3.** Abundancia relativa (%) de macroinvertebrados acuáticos indicadores de calidad de agua, recolectados en época seca y lluviosa de “Los Ángeles”, distrito Quiruvilca, provincia Santiago de Chuco, La Libertad, 2014 – 2017.

La tabla 4, muestra la calidad de agua según los índices BMWP y ABI, en ellos se visualiza que para ambos índices la calidad es mejor en la época lluviosa

**Tabla 4:** Calidad de agua según el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), adaptado para Colombia (BMWP/col, Roldán 2003) e Índice Biológico Andino (ABI), en la Laguna “Los Ángeles”, distrito Quiruvilca, provincia Santiago de Chuco, 2014 – 2017.

Año	Temporada	BMWP(DS)*	Condición	ABI(DS)*	Condición
2014	Seca	39 <sub>±</sub> 3,3	Moderadamente contaminada	36 <sub>±</sub> 4,3	Regular
	Lluviosa	70 <sub>±</sub> 2,7	Ligeramente contaminada	58 <sub>±</sub> 3,9	Buena
2015	Seca	45 <sub>±</sub> 3,1	Moderadamente contaminada	46 <sub>±</sub> 3,4	Buena
	Lluviosa	64 <sub>±</sub> 2,5	Ligeramente contaminada	62 <sub>±</sub> 3,8	Buena
2016	Seca	35 <sub>±</sub> 3,7	Moderadamente contaminada	34 <sub>±</sub> 4,1	Regular
	Lluviosa	77 <sub>±</sub> 4,1	Ligeramente contaminada	60 <sub>±</sub> 3,9	Buena
2017	Seca	57 <sub>±</sub> 3,6	Moderadamente contaminada	54 <sub>±</sub> 4,2	Buena
	Lluviosa	67 <sub>±</sub> 3,7	Ligeramente contaminada	54 <sub>±</sub> 3,7	Buena

\*DS: Desviación estándar

En la tabla 5, se evidencia los valores de los parámetros fisicoquímicos de la laguna El Toro comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), los parámetros importantes como temperatura, oxígeno, conductividad, fósforo total, clorofila “a”, zinc, arsénico, cromo y cadmio son de conformidad; en cambio, los parámetros pH, nitrógeno total y plomo no son de conformidad.

**Tabla 5.** Valores promedios de los parámetros fisicoquímicos en la laguna El Toro 2014-2017.

	Parámetro	Unidad	Valor Promedio	ECA* Categoría	Conformidad
Físico	Temperatura del agua	°C	12,4	3	Conforme
	Transparencia	m	4,8	....	....
	Conductividad	uS/cm	139,8	1000	Conforme
	TDS	mg/L	65,1	....	....
Fisicoquímico	SST	mg/L	29,5	< 25	No conforme
	pH	U	6,4	6,5-9,0	No conforme
	Oxígeno disuelto	mg/L	6,0	> =5	Conforme
	Alcalinidad	mg/L	24,2	....	....
	Nitratos	mg/L	1,59	13,0	Conforme
	Nitrógeno total	mg/L	1,26	0,315	No conforme
	Fosfatos	mg/L	0,022	....	....
	Fósforo total	mg/L	<0,01	0,035	Conforme
	Sílice	mg/L	1,0	....	....
	Bicarbonato	mg/L	<5,00	....	....
	Cloruros	mg/L	<1,0	....	....
	Sulfatos	mg/L	15,2	....	....
	Carbonatos	mg/L	< 5,00	....	....
	Sodio	mg/L	12,9	....	....
	Potasio	mg/L	0,32	....	....
	Calcio	mg/L	5,33	....	....
	Magnesio	mg/L	0,804	....	....
	Clorofila A	mg/L	< 0,005	0,008	Conforme
	Cobre	mg/L	0,0019	0,1	Conforme
	Hierro	mg/L	0,18	....	....
	Zinc	mg/L	0,03	1,0	Conforme
	Plomo	mg/L	0,0104	0,0025	No Conforme
	Arsénico	mg/L	0,0007	0,15	Conforme
Cromo	mg/L	< 0,001	0,11	Conforme	
Cadmio	mg/L	0,0001	0,00025	Conforme	

\*ECA: Estándares de Calidad Ambiental

En la tabla 6, se evidencia los valores de los parámetros fisicoquímicos de la laguna Los Ángeles comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), de ellos los parámetros importantes como temperatura, oxígeno, conductividad, fósforo total, clorofila "a", zinc, arsénico, cromo y cadmio son de conformidad; en cambio, los parámetros pH, nitrógeno total y plomo no son de conformidad.

**Tabla 6.** Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos, laguna Los Ángeles 2014-2017.

Parámetro		Unidad	Valor Promedio	ECA Categoría	Conformidad
Físico	Temperatura del agua	°C	12,4	3	Conforme
	Transparencia	m	6,1	....	....
	Conductividad	uS/cm	154,4	1000	Conforme
	TDS	mg/L	65,7	....	....
Fisicoquímico	SST	mg/L	125,1	< 25	No conforme
	Ph	U	4,9	6,5-9,0	No conforme
	Oxígeno disuelto	mg/L	6,4	>=5	Conforme
	Alcalinidad	mg/L	<5,00	....	....
	Nitratos	mg/L	2,1	13,0	Conforme
	Nitrógeno total	mg/L	1,26	0,315	No conforme
	Fosfatos	mg/L	0,016	....	....
	Fósforo total	mg/L	0,01	0,035	Conforme
	Sílice	mg/L	0,8	....	....
	Bicarbonato	mg/L	<5,00	....	....
	Cloruros	mg/L	<1,0	....	....
	Sulfatos	mg/L	9,1	....	....
	Carbonatos	mg/L	<5,00	....	....
	Sodio	mg/L	15,0	....	....
	Potasio	mg/L	0,09	....	....
	Calcio	mg/L	2,18	....	....
	Magnesio	mg/L	0,315	....	....
	Clorofila a	mg/L	<0,005	0,008	Conforme
	Cobre	mg/L	0,0047	0,2	Conforme
	Hierro	mg/L	0,18	....	....
	Zinc	mg/L	0,04	1,0	Conforme
	Plomo	mg/L	0,00583	0,0025	No Conforme
	Arsénico	mg/L	0,00064	0,15	Conforme
	Cromo	mg/L	<0,001	0,11	Conforme
Cadmio	mg/L	0,00022	0,00025	Conforme	

\*ECA: Estándares de Calidad Ambiental

#### 4. Discusión

Las lagunas El Toro y Los Ángeles, se encuentran afectadas por diversas actividades como la minería, el pastoreo, la agricultura y por el transporte terrestre a través de la carretera de penetración a otros pueblos aledaños y zonas mineras. Adicionalmente, en la laguna El Toro se realiza la crianza de trucha; estas actividades ejercen un impacto negativo sobre el medio ambiente, principalmente sobre los sistemas acuíferos (Chará-Serna et al., 2015; Rivera-Usme et al., 2015). Esto explicaría los resultados encontrados en cuanto a la presencia de familias de macroinvertebrados que se adaptan fácilmente a ecosistemas acuáticos con contaminación orgánica como los Chironomidae y Ceratopogonidae (Tablas 1 y 3); los Chironomidae están adaptados a la anoxia, debido a que, producen una mayor cantidad de sustancias de alta afinidad por el oxígeno (eritrocruorina) que contribuyen a la fijación de este gas aunque esté en muy baja concentración (Hoback y Stanley 2001), además de ser capaces de obtener energía por medio de fermentación anaeróbica.

Durante los periodos de lluvia hubo mayor diversidad de familias (Tabla 3 y 4). La abundancia de los insectos es superior cuando la precipitación pluvial es baja (estación seca) en la laguna Los Ángeles (Figura 2); este comportamiento de los insectos concuerda resultados obtenidos por (Custodio & Chaname, 2016); pero en la laguna El Toro no se encontró diferencias significativas entre la abundancia de estación seca y lluviosa (Figura 1 y 2). Los resultados encontrados en ambas lagunas son muy similares, esto se debería a que tienen los mismos factores de exposición a contaminación por estar ubicadas geográficamente muy cercanas. Las variaciones que se pueden presentar dependen de las lluvias, convirtiéndola en un sistema acuático homogéneo durante los periodos de lluvia (efecto de dilución), diferente en estaciones secas (Castellanos et al., 2017).

El índice más utilizado para evaluar la calidad del agua es BMWP/Col (Roldan, 1999), sin embargo, para determinar la calidad de las aguas en humedales altoandinos se ha estandarizado el Índice Biótico Andino (Acosta et al., 2009). En el presente trabajo se compararon ambos índices encontrando diferencias muy pequeñas entre los valores de sensibilidad a la contaminación para la misma

familia entre el índice ABI generado por Acosta et al. (2009), para las regiones altoandinas del Perú y los valores de sensibilidad obtenidos con el índice BMWP para Colombia (Roldán, 1999), como se puede apreciar en las Tablas 2 y 4.

Según los índices BMWP e IBA, la calidad de agua de la laguna El Toro varía desde moderadamente contaminadas hasta muy contaminadas los que explicaría la presencia de macroinvertebrados que toleran niveles de contaminación orgánica. La laguna Los Ángeles varía desde ligeramente contaminadas hasta moderadamente contaminada. Esto se debería a que estas lagunas soportan sobrepastoreo de ganado cuyas excretas y orina son ricas en sustancias nitrogenadas, causa un impacto directo, lo que sería corroborado por los factores físicos y químicos evaluados donde se evidencia una alta concentración de nitrógeno total en la laguna El Toro (Tabla 5). Las descargas de residuos industriales, agrícolas y domésticos afectan en gran escala a la calidad de agua (Plazas, 1999). Asimismo, la cercanía de una carretera, también contribuye a incrementar la contaminación; como la sal de las carreteras, los sólidos en suspensión y los metales que juegan un papel importante en afectar la biodiversidad acuática, aumentar los riesgos potenciales para los ecosistemas acuáticos, como la reducción de la diversidad y el cambio de la composición de la comunidad (Carew et al., 2007).

Ciertos parámetros fisicoquímicos evaluados en ambas lagunas sobrepasaron los ECA-Agua; en ambas lagunas la laguna El Toro existe una elevada concentración de sólidos suspendidos totales, pH (ligeramente ácido en El Toro y ácido en Los Ángeles) y nitrógeno; así como, la presencia de plomo (Tabla 5). En la laguna Los Ángeles las no conformidades están en el pH y la concentración de plomo; la explicación del origen de estos contaminantes puede tener origen natural o deberse a las actividades humanas; el plomo presente en ambas lagunas posiblemente sea natural de la corteza terrestre y la actividad minera. Ling et al. (2012) demostraron que las actividades humanas como la agricultura y ganadería son las causantes de una mayor concentración de contaminantes como cobre, fierro, cadmio y plomo, este último está asociado a las contribuciones vehiculares. Las lagunas objeto de estudio se encuentran bordeadas por

una carretera de penetración de gran fluido tránsito.

Los análisis fisicoquímicos respaldan la bioindicación por medio de macroinvertebrados y su relación con otras variables son esenciales para entender las perturbaciones del medio, de allí, es necesario una evaluación en conjunto de las variables abióticas y bióticas en escala de tiempo y espacio que permita entender la dinámica de estos ecosistemas ante perturbaciones naturales y/o antrópicas. En el presente trabajo al relacionar los índices bióticos y ECA-Agua obtenidos en ambas lagunas, concuerdan en definir la calidad de agua entre crítica (BMWP) y mala (IBA) hasta dudosa (BMWP) y regular (IBA), en la laguna El Toro; y en menor grado de contaminación la laguna Los Ángeles con calidad de agua entre dudosa (BMWP) y regular (IBA) hasta aceptable (BMWP) y buena (IBA).

Custodio (2019), afirma que existen pocos trabajos realizados en humedales altoandinos o de alta montaña a nivel mundial, al hacer una revisión a un total de 90 artículos publicados en la última década (2007-2017) a través de gestores bibliográficos determinó que el 25% correspondió a estudios de humedales en Perú y de estos solo el 6% a calidad de agua en humedales altoandinos. Por lo tanto, este trabajo constituye el primer aporte en la utilización de los indicadores BMWP y ABI para la evaluación de la calidad biológica del agua de las lagunas altoandinas junto con el análisis fisicoquímico, además existen publicaciones de trabajos de tesis de pre y posgrado a nivel nacional e internacional sobre el estudio de la calidad de agua de las lagunas u otros humedales naturales y artificiales, con los índices BMWP y ABI (Velásquez, 2015; Peralta, 2019; Huamán, 2019; Bastidas, 2017).

Si bien en Perú, los índices biológicos de calidad del agua en ríos son cada vez más utilizados, aún es necesario ampliar el conocimiento de la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en las lagunas altoandinas y estandarizar aquellos índices que puedan adaptarse con mayor precisión a estos sistemas; estos resultados son parte de investigaciones que se están realizando para llegar a estandarizar un BMWP Andino-Perú (BMWP-APE). Finalmente, la aplicación de BMWP puede extenderse a la investigación aplicada porque ya está cubierto por la normativa vigente en muchos países.

## 5. Conclusiones

La caracterización de la calidad biológica del agua de las lagunas El Toro y Los Ángeles mediante el índice biótico BMWP y el ABI son similares, que reflejan aguas muy contaminada - mala calidad (temporada seca) y moderadamente contaminada-regular (temporada lluviosa) en la Laguna El Toro; y, moderadamente contaminada-regular (temporada seca) y ligeramente contaminada-buena (temporada lluviosa) en la Laguna Los Ángeles, durante el periodo de monitoreo.

## 6. Agradecimientos:

La investigación forma parte del Proyecto Lagunas Altoandinas, por tanto, los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Nacional de Trujillo, en especial al Vicerrectorado de Investigación, por habernos dada la oportunidad de concretizar esta investigación en las lagunas de la Microcuenca Caballo Moro, asimismo a la Bachiller Sheyla Alcalde Risco.

## 7. Contribución de los autores

Los autores participaron de forma activa en el muestreo de campo, procesamiento y análisis de datos, así como en la redacción del artículo.

## 8. Conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses en la redacción, revisión y publicación de este artículo.

## 9. Referencias bibliográficas

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28 (1), 35-64.
- Alam, M., Carpenter-Boggs, L., Rahman, A., Haque, M., Miah, M., Moniruzzaman, M., & Abdullah, H. (2017). Water Quality and Resident Perceptions of Declining Ecosystem Services at Shitalakkah Wetland in Narayangonj City. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 9-10.
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA). Almería, España, 2, 203-213.
- Alomía, J., Iannaccone, J., Alvarino, L., & Ventura, K. (2017). Macroinvertebrados bentónicos para evaluar la calidad de las aguas de la cuenca alta del río Huallaga, Perú. *The Biologist*, 1(2).
- Bastidas, A. (2017). Determinación de los índices de la calidad de agua a partir de macro y micro invertebrados en la Laguna de Anteojos del Parque Nacional Llanganates. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador].
- Batty, L., Atkin, L., & Manning, D. (2005). Assessment of the

- ecological potential of mine-water treatment wetlands using a baseline survey of macroinvertebrate communities. *Environmental Pollution*, 138 (3), 412–419.
- Carew, V., Pettigrove, Cox, R., & Hoffmann, A. (2007). The response of Chironomidae to sediment pollution and other environmental characteristics in urban wetlands. *Freshw. Biol*, 52 ( 12 ), 2444 – 2462
- Castellanos, K., Pizarro, J., Cuentas, K., Costa, J., Pino, Z., Gutierrez, L., & Arboleda J. (2017). Lentic water quality characterization using macroinvertebrates as bioindicators: An adapted BMWP index. *Ecological Indicators*, 72, 53–66.
- Chapman, D., Bradley, C., Gettel, G., Hatvani, I., Hein, T., Kovács, J., & Trásy, B. (2016). Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example. *Environmental Science & Policy*, 64,141-154.
- Chará-Serna A., Chará J., Giraldo L., Zúñiga M., & Allan J. (2015). Understanding the impacts of agriculture on Andean stream ecosystems of Colombia: a causal análisis using aquatic macroinvertebrates as indicators of biological integrity. *Freshwater Science*, 34(2),727–740.
- Custodio, M. (2019). A Review of Water Quality Indices Used to Assess the Health Status of High Mountain Wetlands. *Open Journal of Ecology*, 9,66-83.
- Custodio, M., & Chanamé, F. (2016). Analysis of benthic macroinvertebrates biodiversity of Cunas river by means of environmental indicators, Junín-Perú. *Scientia Agropecuaria*, 7(1), 33–44.
- Custodio, M., Chanamé, F., Pizarro, S., & Cruz, D. (2018). Quality of the aquatic environment and diversity of benthic macroinvertebrates of high Andean wetlands of the Junín region, Peru. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(3), 195-202.
- Darrigran, G., Vilches, A., Legarralde, T., & Damborenea, C. (2007). Guía para el estudio de macroinvertebrados. I.- Métodos de colecta y técnicas de fijación. Serie técnica didáctica N° 10. Pag 86. ProBiota, FCN, UNLP La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Giacometti, J., & Bersoba, F. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín técnico 6, Serie Zoología 2*, 17-32
- Gómez, S., & Salazar, C. (2015). Abundancia y producción de macroinvertebrados en función de cuatro tipos de sustratos y de variables fisicoquímicas en la laguna la Virginia, Paramo de Sumapaz. [Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia].
- Guswa, A., Brauman, K., Brown, C., Hamel, P., Keeler, B., & Sayre, S. (2014). Ecosystem services: Challenges and opportunities for hydrologic modeling to support decision making. *Water Resources Research*, 50(5),4535-4544.
- Gutiérrez-Fonseca P., & Lorion, C. (2014). Application of the BMWP-Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: sensitivity to collection method and sampling intensity. *Rev Biol Trop.*, 62 (Suppl.2), 275–289
- Hoback, W., & Stanley, D. (2001). Insects in hypoxia. *Journal of Insect. Physiology*, 47,533-542
- Huamán, L. (2019). Diversidad de macroinvertebrados indicadores de calidad de agua en las lagunas de Pucush Uclo y Ñahuimpuquio – provincia de Chupaca [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Kuhlmann, M., Johnscher G., Ogura. L., & Imbimbo, V. (2012). Protocolo para o biomonitoramento com as comunidades bentônicas de ríos e reservatórios do Estado de São Paulo. CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 113 pp.
- Ling, T., Kho, C., & Nyanti, L. 2012. Spatial and Temporal Variations of Heavy Metals in a Tropical River. *World Applied Sciences Journal*, 16(4), 550-559.
- Lopez-Lopez, E., & Sedeño-Diaz, J. (2015). Biological indicators of wáter quality: The role off ish and macroinvertebrates as indicators of wáter quality in: Armon, R. H. Hanninen (Eds.) *Environmental indicators*, Springer Science Busines, 650-652.
- Medina-Tafur, C., Revilla, M., Ruiz, W., Aguilar, R., & Guzmán, I. (2013). El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama. *La Libertad. Perú*. 2008. *Sciéndo*, 13 (2).
- Medina-Tafur, C., Hora-Revilla, M., Guzmán, I., Pereda-Ruiz, W., & Aguilar, R. (2010). Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicana. *La Libertad, Perú*. *Uniciencia*, 1,5-20.
- Moya, N., Hughes, R., Domínguez, E., & Goitia, E. (2011). Macroinvertebrate-based multimetric predictive models for evaluating the human impact on biotic condition of Bolivian streams. *Ecological Indicators*, 11(3),840-847
- Muñoz-Riveaux, S., Naranjo-López, G., García-González, D., González-Lazo, D., Musle- Cordero, Y., & Rodríguez-Montoya, L. (2003). Evaluación de la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. *Rev. Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2),147-143.
- Nasirian, H. (2014). Evaluation of water quality and organic pollution of Shadegan and Hawr Al Azim wetlands by biological indices using insects. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2 (5), 193-200.
- Nuñez, J., & Fragoso, P. (2020). Uso de macroinvertebrados acuáticos como sistema de evaluación de las lagunas de estabilización El Salguero (Colombia). *Información tecnológica*, 31, 277-284.
- Peralta, E. (2019). Situación de la calidad de agua de la laguna Huacachina en base a indicadores biológicos. [Tesis de Maestría, Universidad Ricardo Palma. Lima-Perú].
- Plazas, J. (1999). Organismos indicadores de contaminación en un cuerpo de agua. *Investigación y Desarrollo social*, 21 (1),79-82.
- Ríos-Touma, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Rev. Biol. Trop.*, 62(2),249-273.
- Rivera-Usme, J., Pinilla, G., Rangel-Churio, J., Castro, M., & Camacho-Pinzón, D. (2015). Biomass of macroinvertebrates and physicochemical characteristics of water in an Andean urban wetland of Colombia. *Revista Brasileña de Biología*, 75 (1), 180-190.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: uso del método BMWP/Col. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín Colombia
- Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad de agua. Departamento de Biología. Universidad de Antioquia. Medellín Colombia.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40 (155), 254.
- Rosas-Acevedo, J., Ávila-Pérez, H., Sánchez-Infante, A., Rosas-Acevedo, A., García-Ibáñez, S., Sampedro-Rosas, L., Granados-Ramírez, J., & Juárez-López, A. (2014). Índice

- BMWP, FBI y EPT para determinar la calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(2),81-88.
- Rosas-Acevedo, J., Sánchez-Infante, A., Rosas-Acevedo, A., Castañón, W., Sampedro, L., & Juárez, A. (2016). Aquatic Insects at Southeast of Wetlands in the Tres Palos Lagoon, Acapulco, Guerrero, México. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 25 (1), 89-99.
- Salcedo, S., Artica, L., & Trama, F. (2013). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad de agua en la microcuenca San Alberto, Oxapampa, Perú. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 3(2), 124–139.
- Tapia, L., Sánchez, T., Baylón, M., Jara, E., Arteaga, C., Maceda, D., & Salvatierra, A. (2018). Invertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en lagunas altoandinas del Perú. *Ecología Aplicada* 17(2).
- Terneus-Jácome & Yánez, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *LA GRANJA: Revista de Ciencias de La Vida*, 27(1), 36–50.
- Valverde, N., Caicedo, O., & Aguirre, N. (2009). Análisis de calidad de agua de la Quebrada La Ayura con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos. *Revista Producción Limpia*, 4,40- 60
- Van, E., De Cooman, W., Blust, R., & Bervoets, L. (2015). Use of a macroinvertebrate based biotic index to estimate critical metal concentrations for good ecological water quality. *Chemosphere*, 119, 138-144.
- Velásquez, N. (2015). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en lagunas de la Cabecera de Cuenca del Río Rímac y Cuenca Del Mantaro de la Región Central del Perú, 2015. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Santa-Perú].