

Evaluación del estado trófico del río Cunas mediante índices físicos, químicos y biológicos, en dos periodos climáticos-Junín, Perú

Assessment of Cunas river trophic status by physical, chemical and biological indices, in two climatic periods-Junín, Peru

María Custodio Villanueva¹ & Erika S. Chávez Amésquita².

¹ Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional del Centro del Perú.

Email: custodio@uncp.edu.pe

² Empresa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Municipal de Huancayo, SEDAM HUANCAYO S. A.

RESUMEN

Se evaluó el estado trófico del río Cunas mediante índices físicos, químicos y biológicos, en dos periodos climáticos - Junín, Perú, entre enero y diciembre de 2015. Se utilizaron los métodos de observación y descripción, con un diseño no experimental de tipo longitudinal. Se definieron tres sectores de muestreo, San Juan de Jarpa, Angasmayo y La Perla. Se colectaron muestras de agua para determinar la concentración de nitratos y fosfatos, clorofila *a* y coliformes termotolerantes. Los parámetros medidos *in situ* fueron: oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, temperatura, pH y turbidez. Estas mediciones se realizaron con equipos portátiles Hanna Instruments. Las muestras de macroinvertebrados bentónicos se colectaron mediante una red Surber con malla de 250 µm de abertura. Según el INSF, San Juan de Jarpa presentó una calidad de agua buena, Angasmayo y La Perla, presentaron una calidad de agua media y mala, respectivamente. Según los índices bióticos los tres sectores presentaron bajos niveles tróficos. El estado trófico obtenido según la composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos calificó a los sectores de San Juan de Jarpa y Angasmayo como sectores con bajo nivel trófico (oligotrófico), y al sector La Perla con mayor nivel trófico (hipertrofico). Según la determinación de clorofila *a*, los tres sectores presentaron bajos niveles tróficos (oligotróficos).

ABSTRACT

Cunas trophic status of river was assessed by physical, chemical and biological indices in two climatic periods - Junin, Peru, between January and December 2015. Methods of observation and description, with a non-experimental longitudinal design type were used. Three sectors sampling, San Juan de Jarpa, Angasmayo and La Perla were defined. Water samples were collected to determine the concentration of nitrates and phosphates, chlorophyll *a* and thermotolerant coliforms. The parameters measured *in situ* were dissolved oxygen, total dissolved solids, temperature, pH and turbidity. These measurements are made using equipment Hanna Instruments. Benthic macroinvertebrates samples were collected by a network Surber mesh aperture of 250 µm. According to the INSF, San Juan de Jarpa has good water quality, Angasmayo and La Perla, presented a medium and poor quality water, respectively. According to biotic indices all three sectors showing lower trophic levels. The trophic state obtained according to the composition of benthic macroinvertebrate community qualified the sectors of San Juan de Jarpa and Angasmayo as sectors with low trophic level (oligotrophic), and the sector La Perla more trophic level (hypertrophied). According to the determination of chlorophyll *a*, the three sectors have low trophic levels (oligotrophic).

Palabras clave | Key words:

estado trófico, calidad de agua, río Cunas, índices bióticos, macroinvertebrados bentónicos.
trophic status, water quality, Cunas River, biotic indices, benthic macroinvertebrates

Introducción

El agua es el recurso natural renovable que ejerce la acción más limitante en el desarrollo humano y en de toda forma de vida (Gómez, Fernández y Kehr, 2012). El agua disponible en el mundo es de aproximadamente 1 386 millones de km³, de los cuales solo el 2.5% es agua dulce. La mayor porción de agua dulce (68.7%) se concentra en forma de hielo en los glaciares y las regiones montañosas; el 29.9% está almacenada en acuíferos; y solamente el 0.26% se encuentra en lagos, embalses y ríos (Sánchez, Nuñez y Trujano, 2003; Díaz, Bravo, Alatorre, y Sánchez, 2013).

Los ecosistemas acuáticos son afectados por una variedad de estresores, como el excesivo aporte de nutrientes, alteraciones geomorfológicas, cambios en el uso de la tierra, estrés hidrológico, etc. (Vörösmarty et al., 2010). Consecuentemente, se produce disminución y pérdida de la biodiversidad y degradación de la calidad del agua (Córdova, Gaete, Aránguiz y Figueroa, 2009; Ferreira et al., 2011; Rizo, Kumar, McCoy, Springer, & Trama, 2013; Beketov, Kefford, Schäfer, & Liess, 2013). La contaminación del agua superficial es uno de los problemas ambientales más extendidos del siglo 21. En los países desarrollados, los tomadores de decisiones han sido conscientes de estos problemas y han implementado políticas del agua en su legislación (Liu, Zheng, Fu, & Wang, 2012). En Europa, se han implementado Directiva Marco Estratégicas, como la Directiva Marco del Agua, de la calidad de cuenca y de aguas marinas en el 2000 (WFD, 2000/60/EC), 2006 (QBWD, 2006/7/EC) y 2008 (MSFD, 2008/56/EC), respectivamente (Petus et al., 2014).

En los países en desarrollo, el suministro y tratamiento de agua son los temas más importantes y destinan la mayor parte de las inversiones en la gestión del agua (Perrin, Rais, Chahinian, Moulin, & Ijjaali, 2014). En la práctica, menos de 20% del total de efluentes de aguas residuales son tratados antes de ser vertidos en el ambiente y grandes cantidades de agua altamente contaminada se utilizan directamente para el riego (Alvarez, 2013). Así, los efluentes de aguas residuales domésticas e industriales siguen causando graves problemas de contaminación y muchas de estas regiones están por lo general ya severamente afectadas por la escasez de agua (Swiech, Ertsen, & Machicao, 2012).

En el Perú, la contaminación del agua es uno de los mayores problemas ambientales, no solo porque limita la disponibilidad de agua para el consumo humano, sino también porque afecta a los ciclos biogeoquímicos a nivel global (Toro, Schuser, Kurosawa, Araya y Contreras, 2003). Se estima que actualmente solo son tratadas el 29.1% a través de 143 plantas de tratamiento, vertiéndose el resto a los cauces de los ríos, lagos y al mar sin tratamiento. La descarga de aguas residuales de origen domiciliario e industriales y de sustancias peligrosas, como: agroquímicos, lixiviados provenientes de relaves abandonados de la minería y de botaderos de residuos sólidos a los cuerpos de agua genera la necesidad de aplicar un instrumento para dar seguimiento a la calidad de las aguas (Pérez y Rodríguez, 2008).

El uso de bioindicadores tiene ventajas importantes sobre los análisis físico-químicos, ya que proporcionan información del estado histórico del cuerpo de agua y no sólo del momento de la toma de la muestra (Kelly, & Whitton, 1995). Esto permite hacer un mejor manejo de los sistemas. La comunidad algal bentónica son uno de los grupos más usados para realizar la evaluación biológica, ya que tienen una amplia distribución geográfica y responden rápidamente a los cambios ambientales (Lowe, 2011). Se han incorporado grupos algales que nos permiten comprender mejor los procesos de alteración de la calidad de las aguas (Schneider, & y Lindstrom, 2011; Loza, Perona, & Mateo, 2014). Además, algunas poblaciones son capaces de detectar e incluso inmovilizar sustancias tóxicas como los metales pesados (Stevenson, Pan, & van Dam, 2010).

En ese contexto y considerando que por décadas los países de todo el mundo han estado en una batalla constante de desarrollo del método más adecuado para evaluar la calidad del agua (Lermontov, Yokoyama, Lermotov y Soares, 2015). El Perú, no escapa a esa necesidad de contar con metodologías de monitoreo basadas en índices de calidad de agua. En tal sentido, el objetivo general fue evaluar el estado trófico del río Cunas mediante índices físicos, químicos y biológicos, en dos periodos climáticos - Junín, Perú, entre enero y diciembre de 2015 y, como objetivos específicos: determinar la calidad del agua mediante el índice NSF y determinar el estado trófico mediante los índices biótico TSI-BI y el TSI-Clorofila *a*.

Método

Descripción del área de estudio

El área de estudio seleccionada se ubica en la subcuenca del río Cunas en la sierra central del Perú, sobre la margen derecha del río Mantaro. Está ubicada entre las coordenadas 11° 45' y 12° 20' latitud sur; 75° 15' y 75° 45' longitud oeste. La red de drenaje del sistema hidrográfico del río Cunas presenta una confluencia centrípeta y su

cauce principal describe la forma de la letra S, con dirección de recorrido W-E, alcanza una longitud de 101.80 Km, partiendo de la cota más alta a 4797 msnm y la más baja en la desembocadura a 3190 msnm.

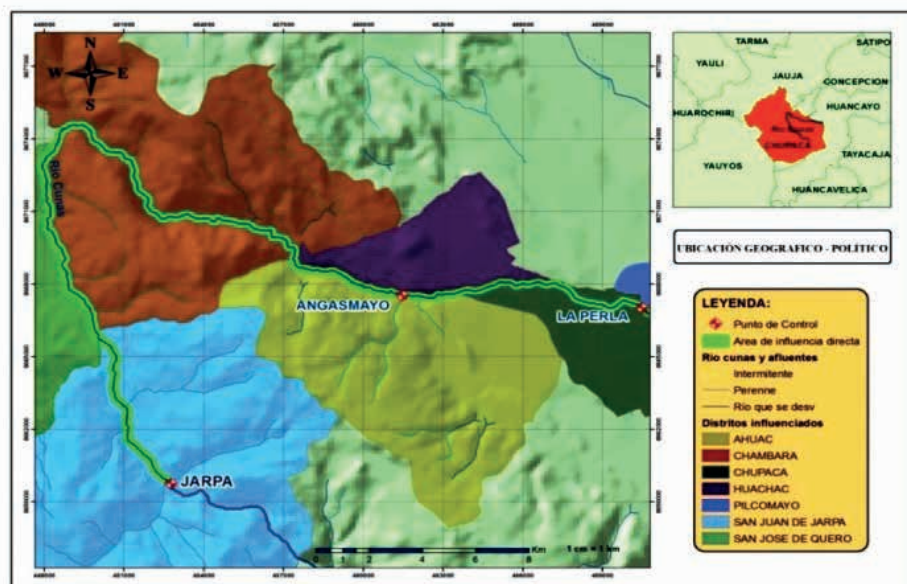


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo de agua y macroinvertebrados bentónicos del río Cunas.

Recolección y análisis de las muestras de agua

Se definieron las estaciones de muestreo en los sectores de San Juan de Jarpa, Angasmayo y La Perla (Figura 1). Las muestras de agua fueron tomadas durante dos etapas. La primera correspondió a febrero, marzo y abril y, la segunda a mayo, junio y julio. En ambas etapas la obtención de las muestras de agua se realizó de acuerdo al protocolo del Ministerio de Salud (MINSA, 2007).

Análisis físico-químico del agua

Las muestras de agua fueron colectadas en dirección opuesta al flujo de la corriente, desde la superficie del río, en botellas de plástico de dos litros, previamente tratadas con una solución de ácido clorhídrico en proporciones iguales con agua destilada. Las muestras se refrigeraron a 4°C y fueron trasladadas al Laboratorio de análisis de Agua de la Universidad Nacional del Centro del Perú para su posterior análisis. Los parámetros determinados in situ fueron: oxígeno disuelto (mg/L), sólidos totales disueltos (mg/L), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura (°C), pH, turbidez (FTU). Estas mediciones se realizaron con equipos portátiles Hanna Instruments (HI 991301 Microprocessor pH/ temperatura, HI 9835 Microprocessor Conductivity/ TDS y HI 9146 Microprocessor oxígeno disuelto). Previamente, los equipos fueron calibrados en el sector de muestreo respectivo.

Recolección y análisis de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos

En cada sector de muestreo se definió un tramo de 100 metros. Los puntos de muestreo se establecieron cada 10 metros y en cada de ellos la muestra estuvo constituida por tres réplicas. Las muestras de macroinvertebrados bentónicos fueron colectadas mediante una red Surber de 0.09 m² de área de superficie de muestreo y una malla de abertura de 250 μm de abertura (Jaimes et al., 2002). La determinación taxonómica de los taxa fue a nivel de familia. Para ello, se utilizó diferentes claves taxonómicas de macroinvertebrados bentónicos (Huamantínco y Ortiz, 2010; Narcís y Acosta, 2011; Gómez et al., 2012).

Determinación de clorofila *a* mediante fluorimetría

La estimación de la biomasa algal se realizó a una longitud de onda de 470 nm sobre la base de los valores de fluorescencia que es la que emite la clorofila sin la excitación por la luz. Inicialmente, se fijaron los parámetros de

medida del aparato. Luego se realizó la calibración del fluorómetro con el estándar sólido y se midió la emisión de la fluorescencia (Rivera et al., 2005).

Resultados

Determinación de la calidad del agua mediante el índice de calidad de agua INSF

En la Tabla 1, se presentan los estadísticos descriptivos de los indicadores físico-químicos y bacteriológicos de la calidad de agua del río Cunas, considerando el sector y la época de muestreo. El pH del agua presentó variaciones en el tramo del río evaluado, con medias que oscilaron de 7.13 en el sector San Juan de Jarpa, en época de lluvia a 8.00 en el sector La Perla, durante la época de estiaje. Los valores de la turbidez fueron mayores en época de lluvia, alcanzando un valor máximo de 19 FTU en el sector La Perla. La media de la DBO₅ osciló de 4.13 mg/L en el sector San Juan de Jarpa durante la época de lluvia a 13.60 mg/L en el sector la Perla, en época de estiaje, con un máximo de 15.00 mg/L. Las concentraciones de oxígeno disuelto más bajas se registraron en el sector La Perla, en las dos épocas de muestreo.

La variación de la temperatura del agua no presentó cambios importantes, aunque se apreció un ligero aumento en la estación de La Perla, en época de estiaje. La media de los sólidos totales disueltos varió de 102.67 mg/L en el sector San Juan de Jarpa, en época de lluvia a 382.30 mg/L en el sector La Perla, época de estiaje. Este incremento se debería a la descarga de aguas residuales que se vierten directamente al río sin tratamiento previo, principalmente a nivel del sector La Perla y los que se ubican aguas arriba a este sector.

Los fosfatos presentaron medias que variaron de 0.002 mg/L en el sector San Juan de Jarpa a 0.153 mg/L en el sector Angasmayo, ambas en época de lluvia. Los fosfatos se incrementaron aguas abajo a medida que se presentan descargas de aguas residuales y el aporte de detergentes. Mientras que, los nitratos presentaron concentraciones muy bajas en los tres sectores de muestreo.

Los valores mínimos de concentración de coliformes termotolerantes se presentaron en el sector San Juan de Jarpa, durante la época de lluvia (39 NMP/100 ml) y los valores máximos (>1100 NMP/100 ml) en el sector La Perla, en época de estiaje. El incremento de la concentración de coliformes termotolerantes en este sector se debería a las descargas de aguas residuales municipales que se vierten directamente al río, sin tratamiento previo.

Tabla 1

Estadísticos descriptivos de los indicadores físico-químicos y bacteriológicos de la calidad de agua del río Cunas, según sector y época de muestreo.

	San Juan de Jarpa			Angasmayo			La Perla		
	Época de lluvia								
Indicador	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media
pH (Unidad)	7.00	7.40	7.13	7.00	8.10	7.67	7.30	7.60	7.40
Turbidez (FTU)	4.00	5.30	4.77	6.10	12.00	8.47	14.10	19.00	17.37
DBO ₅ (mg/L)	3.00	5.40	4.13	6.82	7.23	7.10	8.45	9.80	9.27
Oxígeno disuelto (% saturación)	89.10	91.60	90.30	77.40	87.10	82.88	50.16	71.45	63.88
Temperatura (°C)	14.50	15.10	14.87	14.40	16.30	15.17	15.40	16.30	15.73
STD (mg/L)	95.00	108.00	102.67	12.10	238.00	173.67	237.00	309.00	275.00
Fosfatos (mg/L)	0.00	0.01	0.00	0.02	0.07	0.153	0.00	0.00	0.00
Nitratos (mg/L)	0.00	0.00	0.001	0.04	0.14	0.045	0.00	0.40	0.01

Coliformes termotolerantes (NM-P/100ml)	39.00	64.00	48.67	93.00	150.00	121.00	240.00	450.00	308.00
Época de estiaje									
pH (Unidad)	7.40	7.70	7.05	7.00	8.10	7.50	7.50	8.50	8.00
Turbidez (FTU)	2.00	3.80	30.00	4.30	5.90	5.23	9.70	11.20	10.47
DBO ₅ (mg/L)	4.90	5.50	5.01	7.50	8.20	7.90	12.50	15.00	13.60
Oxígeno disuelto (% saturación)	80.20	87.50	83.23	70.00	73.50	74.18	60.00	65.20	61.90
Temperatura (°C)	13.40	15.30	14.6	16.50	18.00	17.30	17.00	18.00	17.50
STD (mg/L)	270.00	305.00	289.30	356.00	410.00	378.70	356.00	401.00	382.30
Fosfatos (mg/L)	0.013	0.031	0.021	0.275	0.498	0.371	0.630	0.760	0.697
Nitratos (mg/L)	1,085	3.04	1.74	2.19	3.61	2.935	0.010	7.120	5.793
Coliformes termotolerantes (NM-P/100ml)	43.00	75.00	64.33	210.00	240.00	230.00	450.00	>1100	883.33

Los resultados de la calidad del agua del río Cunas, obtenidos a partir de los indicadores físico-químicos y bacteriológicos, según el índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF) calificaron a las masas de agua del sector de San Juan de Jarpa como agua de calidad buena con un promedio del ICA-NSF de 77.02 para la época de lluvia y de 73.79 para la época de estiaje. Mientras que para Angasmayo y La Perla este índice calificó a las masas de agua como agua de calidad media, con promedios del INSF de 70.08 y 61.27, en época de lluvia. En tanto que para época de estiaje la calidad de agua en este sector calificó como agua de calidad mala. En el sector La Perla los promedios del INSF fueron de 61.27 y 49.42, para época de lluvia y estiaje respectivamente, calificando a la calidad de agua en este sector como agua de calidad media y mala (Tabla 2).

Tabla 2

Índice de calidad de agua NSF del río Cunas a partir de indicadores físicos, químicos y bacteriológicos, según sector de muestreo y época.

Sector de muestreo	Índice de calidad de agua NSF							
	Época de lluvia				Época de estiaje			
	E	F	M	X	M	J	Jl	X
San Juan de Jarpa	76.75	77.31	76.99	77.02	73.73	74.11	73.53	73.79
Angasmayo	70.11	71.47	68.66	70.08	64.19	63.40	60.25	62.61
La Perla	56.09	64.17	63.55	61.27	50.57	48.69	49.01	49.42

En términos generales, los valores del INSF obtenidos en el tramo del río evaluado, muestran una variación de la calidad de agua en los tres sectores de muestreo. El sector de muestreo de San Juan de Jarpa presentó una calidad de agua buena, lo cual indica que la calidad del agua de este sector soporta un menor grado de amenaza y rara vez se aparta de las condiciones cercanas a los niveles naturales y de los parámetros establecidos. En tanto que, los sectores de Angasmayo y La Perla, presentaron una calidad de agua media con tendencia a alcanzar una calidad de agua mala, principalmente en La Perla. Lo cual revela que la calidad del agua está siendo afectada por vertimientos de aguas residuales domésticas sin previo tratamiento.

Determinación del estado trófico del río Cunas mediante índices TSI-BI y Clorofila *a*

Se identificaron cuatro phyla, siete clases, 11 órdenes y 23 familias de macroinvertebrados bentónicos en el río Cunas, durante las épocas de lluvia y estiaje, en los sectores de San Juan de Jarpa, Angasmayo y La Perla. El phylum Arthropoda, fue el más representativo en abundancia y riqueza de taxa, siendo la clase Insecta la más distintiva (Tabla 3).

La composición de macroinvertebrados bentónicos según el nivel trófico, reveló que el sector La Perla presentó mayor estado trófico (hipereutróficos). En este sector, la comunidad de macroinvertebrados estuvo mayormente representada por dípteros tolerantes a altas concentraciones de materia orgánica, como los de las familias Chironomidae, Simuliidae, Tipulidae, Empididae, Ceratopogonidae y Psychodidae. Mientras que los sectores de San Juan de Jarpa y Angasmayo presentaron menores niveles tróficos (eutróficos), observándose una mayor abundancia de insectos de los órdenes Ephemeroptera y Trichoptera. Estos resultados también revelan el estrecho vínculo que existe entre la presencia de determinadas familias de macroinvertebrados y el grado de contaminación de las aguas.

Tabla 3

Valor de tolerancia a la contaminación de los taxa de macroinvertebrados bentónicos capturados en el río Cunas, durante las épocas de lluvia y estiaje.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Valor de tolerancia					
				Lluvia			Estiaje		
				SJJ	A	LP	SJJ	A	LP
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Dugesiidæ	7	7	7	7	7	7
Annelida	Oligochaeta	Tubificida	Tubificidæ	0	0	0	0	0	0
	Hirudinea	Glossiphoniiformes	Glossiphoniidæ	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Gastropoda	Basommatofora	Lymnaeidae	7	7	7	7	7	7
Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Hyalellidae	0	0	0	0	0	0
	Arachnoidea	Acari	Hydrachnidiidae	3	0	0	3	0	0
	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	7	7	0	7	7	0
			Leptophlebiidae	9	9	0	9	9	0
		Plecoptera	Perlidae	0	0	0	0	0	0
			Gripopterygidae	0	0	0	0	0	0
		Trichoptera	Hydropsychidae	5	5	0	5	5	0
			Hydroptylidae	7	7	0	7	7	0
			Leptoceridae	8	0	0	8	0	0
			Helicopsychidae	8	0	0	0	0	0
		Coleoptera	Elmidae	6	6	6	6	6	6
			Hydrophilidae	5	5	5	5	5	5
			Scirtidae	7	0	0	7	0	0
		Diptera	Ceratopogonidae	0	0	5	0	0	5
			Chironomidae	0	0	4	0	0	4
			Simuliidae	5	5	5	5	5	5
			Tipulidae	0	0	5	0	0	5
			Empididae	5	5	5	5	0	5
			Psychodidae	4	5	4	4	5	4
		Índice biótico de familias-BMWP			93	68	53	85	63

La calidad del agua del río Cunas de acuerdo al índice de BMWP varió según sector y época de muestreo. Los sectores de San Juan de Jarpa y Angasmayo presentaron buena calidad de agua tanto en época de lluvia como de estiaje (93 y 85, respectivamente), lo cual indica bajos niveles de contaminación orgánica. En el sector La Perla la calidad del agua fue media, en ambas estaciones, lo cual indica contaminación. En tanto que, los resultados de la evaluación del estado trófico de acuerdo a la concentración de clorofila *a*, variaron según sector y época de muestreo. Los sectores de San Juan de Jarpa y Angasmayo presentaron valores de clorofila *a* muy bajos tanto en época

de lluvia como de estiaje. Estos resultados estarían condicionados a que el fitoplancton es sensible a la velocidad y la turbulencia de las aguas. En el sector La Perla las concentraciones de clorofila *a* se incrementaron en ambas épocas de muestreo, lo cual indica el aumento de la carga algal en este sector debido al incremento de la materia orgánica (Tabla 4). Sin embargo, en los tres sectores las aguas presentaron estado oligotrófico.

Tabla 4

Calidad de agua y estado trófico del río Cunas, según sector de muestreo, durante el 2015.

Sector de muestreo	Valor del BMWP		Calidad de agua	Clorofila <i>a</i> (µg/L)		Estado trófico
	Lluvia	Estiaje		Lluvia	Estiaje	
San Juan Jarpa	93	85	Buena	0,23	0,25	Oligotrófico
Angasmayo	68	63	Buena	0,32	0,43	Oligotrófico
La Perla	53	53	Media	2,78	2,83	Oligotrófico

BMWP: Biological Monitoring Working Party

Discusión

Determinación de la calidad del agua mediante el índice de calidad de agua INSF

El índice de calidad de agua es una herramienta muy útil para comunicar información sobre la calidad del agua tanto a las autoridades y como al público en general. Puede dar rápidamente una imagen general del estado del recurso hídrico. Es muy útil para propósitos comparativos, y determinar qué puntos de muestreo presentan peor calidad de agua (Liu et al., 2012; Viera, 2013). El índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norte América (INSF) adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio.

Las aguas con INSF mayor que 91, son aguas de categoría excelente, capaces de poseer una alta diversidad biológica y conveniente para todas las formas de contacto directo con ella. Las aguas con INSF mayor que 71, son aguas de categoría buena, poseen una menor diversidad biológica y el agua no es conveniente para todas las formas de uso. Mientras que las aguas con un INSF de categoría media, tienen generalmente menos diversidad biológica y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas (Valcárcel, Macías y Fonseca, 2009). Las aguas con un INSF de categoría mala, presentan una baja diversidad de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas de contaminación. En tanto que, las aguas con un INSF de categoría muy mala, pueden sólo poseer un número limitado de las formas de vida acuática, presentan numerosos problemas y normalmente no son aconsejables para las actividades que implican el contacto directo con ella (Swiech et al., 2012; González, Caicedo y Aguirre, 2013).

Considerando que los índices de calidad de agua son herramientas que aportan una perspectiva más precisa del estado ecológico y medio biológico (Laura, Higa, & Weiqi, 2010; Gonzáles et al., 2013). Los resultados obtenidos del INSF en el sector de San Juan de Jarpa, en épocas de lluvia y estiaje revelan que las aguas presentan una calidad de agua buena, lo cual muestra que el grado de amenaza es menor, pues las condiciones son cercanas a las naturales. En los sectores de Angasmayo y La Perla, las aguas presentan calidad de agua media y mala, respectivamente, en época de estiaje. La variación del INSF en los tres sectores de muestreo fue de buena en el sector de San Juan de Jarpa a mala en el sector La Perla. El INSF en este último sector revela deterioro de la calidad de agua, situación que se estaría dando como consecuencia de las actividades antropogénicas acentuadas en esta parte del río.

Estos resultados demuestran que las aguas del río Cunas en la parte alta, aún no experimentan severos problemas de contaminación, considerando que las aguas de calidad buena pueden soportar una importante diversidad de vida acuática y son apropiadas para todo tipo de recreación y potabilización. Las aguas de calidad media generalmente revelan importantes niveles de contaminación, poseen menos diversidad de organismos acuáticos y frecuentemente manifiestan un crecimiento anormal de algas. Por tanto, si las actividades humanas continúan su desarrollo sin tener en cuenta los criterios ambientales, la calidad del agua se verá seriamente afectada.

Determinación del estado trófico del río Cunas mediante índices TSI-BI y Clorofila *a*

Los resultados obtenidos de la evaluación del estado trófico del río Cunas mediante comunidades de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas muestran que la mayor abundancia de los individuos del orden Ephemeroptera se registró en San Juan de Jarpa. Resultados que son corroborados por Romero, Pérez y Rincón (2006) y Maroneze, Tupinambás, Franca y Callisto (2011), quienes refieren que la gran mayoría de las especies de este orden poseen baja tolerancia a la contaminación. Pues prefieren vivir en sitios con buena oxigenación, en sustratos de piedra y arena. La familia con mayor abundancia fue Baetidae, los individuos de esta familia pueden tolerar cierto grado de contaminación (Valladolid, Martínez, Araúzo y Gutiérrez, 2006).

El orden Plecoptera con las familias Perlidae y Gripopterygidae, está restringido al sector de San Juan de Jarpa, donde la calidad de agua es buena. Estos resultados son respaldados por Molina, Gibon, Pinto y Rosales (2008), quienes refieren que los individuos de este orden son los más exigentes dentro del grupo de los macroinvertebrados bentónicos en cuanto a calidad de agua.

El orden Trichoptera constituye un importante componente de las comunidades bénticas y base de la cadena trófica de los ecosistemas acuáticos (Moya, Gibon, Oberdorff, Rosales y Domínguez, 2009). La mayor abundancia de especímenes de este orden ha sido registrada en el sector de San Juan de Jarpa, en donde la calidad del agua es buena. La familia más representativa por su abundancia es Hydropsychidae. Estos resultados son corroborados por Acosta (2009), quien señala que los trichópteros son indicadores de aguas limpias y su abundancia aumenta con el aumento de la altitud.

Los resultados obtenidos de la evaluación del estado trófico según comunidades de macroinvertebrados bentónicos revelan estados oligotróficos en San Juan de Jarpa y Angasmayo, dado que las comunidades de estos organismos estuvieron conformadas principalmente por individuos de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera. Sin embargo, el sector La Perla presentó predominio del orden Diptera principalmente de la familia Chironomidae dando lugar a un mayor nivel trófico (eutrófico).

No obstante, según la determinación de la concentración de clorofila *a*, los sectores de San Juan de Jarpa y Angasmayo presentaron un bajo nivel trófico (oligotrófico). Ello se debería a la baja carga algal que presentan estos sectores. Sin embargo, aguas abajo la concentración de este pigmento se incrementa revelando la contaminación por el vertido directo de aguas residuales al curso del río. Situación que se ve reflejada por el descenso de la abundancia de la entomofauna bentónica, principalmente de los Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera.

Referencias

- Acosta, R. C. (2009). *Estudio de la cuenca altoandina del río Cañete (Perú): Distribución altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cárticas*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona, Barcelona, España.
- Alvarez, M., Irvine, K., Griensven, A. V., Arias, H. M., Torres, A., & Mynett, A. E. (2013). Relationships between aquatic biotic communities and water quality in a tropical river-wetland system (Ecuador). *Environmental Science & Policy*, 34 (2013), 115-127.
- Beketov, M. A., Kefford, B. J., Schäfer, R. B. & Liess, M. (2013). Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 110, 11039-11043.
- Córdova, S., Gaete, H., Aránguiz, F. y Figueroa, R. (2009). Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 73, 199-209.
- Díaz, C. R., Bravo, P. L., Alatorre, C. L. y Sánchez, F. E. (2013). Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: una aproximación geográfica. *Investigaciones geográficas*, 82, 93-103.
- Ferreira, J. G., Andersen, J. H., Borja, A., Bricker, S. B., Camp, J., Cardoso da Silva, et al. (2011). Overview of eutrophication indicators to assess environmental status within the European Marine Strategy Framework Directive. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93, 117-131.
- Gómez, L. M., Fernández, L. A. y Kehr, A. I. (2012). Coleópetros acuáticos de lagunas situadas en el noroeste de la provincia de Corrientes, Argentina. *Rev. Soc. Entomol. Argent.*, 71(1-2), 73-85.

- González, M. V., Caicedo, Q. O. y Aguirre, R. N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DI-NIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 16, 97-107.
- Huamantínco, A. A. y Ortiz, W. (2010). Clave de géneros de larvas de Trichoptera (Insecta) de la Vertiente Occidental de los Andes, Lima, Perú. *Rev. Per. Biol.*, 17(1), 75-80.
- Jáimez, C. P., Vivas, S., Bonada, N., Robles, S., Mellado, A., Álvarez, M., et al. (2002). Protocolo GUADALMED (PRECE). *Limnetica*, 21(3-4), 187-204.
- Kelly, M., & Whitton, B. (1995). The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology*, 7, 433-444.
- Laura, E., Higa, E., & Weiqi, C. (2010). Integrated Water Resources Management in Peru. *Procedia Environmental Sciences*, 2 (2010), 340-348.
- Lermontov, A., Yokoyama, L., Lermontov, M. & Soares, M. M. (2015). River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecological Indicators*, 9 (2009), 1188-1197.
- Liu, Y., Zheng, B. H., Fu, Q., Wang, L. J., & Wang, M. (2012). The Selection of Monitoring Indicators for River Water Quality Assessment. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 129-139.
- Lowe, R. L. (2011). The importance of scale in understanding the natural history of diatom communities. In: Seckbach, J., & J.P. Kociolek (Eds). *The diatom world*. Dordrecht, Holland: Springer.
- Loza, V., Perona, E., & Mateo, P. (2014). Specific responses to nitrogen and phosphorus enrichment in cyanobacteria: factors influencing changes in species dominance along eutrophic gradients. *Water Research*, 48, 622-631.
- Maroneze, D. M., Tupinambás, T. H., França, J. S. y Callisto, M. (2011). Efectos de la reducción de flujo y aliviaderos en la composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en un tramo de río brasileño. *Braz J Biol.*, 71(3), 639-651.
- Ministerio de Salud. (2007). *Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales*. Lima, Perú: DIGESA, Área de protección de recursos hídricos.
- Molina, C., Gibon, F., Pinto, J. y Rosales, C. (2008). Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la cordillera Real, Bolivia: variación anual y longitudinal en relación a factores ambientales. *Ecología Aplicada*, 7(1,2).
- Moya, N., Gibon, F. M., Oberdorff, T., Rosales, C. y Domínguez, E. (2009). Comparación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos intermitentes y permanentes del Altiplano Boliviano: implicaciones para el futuro cambio climático. *Ecología Aplicada*, 8(2), 105-114.
- Narcís, P. M. y Acosta, C. R. (2011). *Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú*. Universidad de Barcelona, España.
- Pérez, C. A. y Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Rev. Biol. Trop.*, 56(4), 1905-1918.
- Perrin, J. L., Raïs, N., Chahinian, N., Moulin, P., & Ijjaali, M. (2014). Water quality assessment of highly polluted rivers in a semi-arid Mediterranean zone Oued Fez and Sebou River (Morocco). *Journal of Hydrology*, 510 (2014), 26-34.
- Petus, C., Marieu, V., Novoa, S., Chust, G., Bruneau, N., & Froidefond, J. M. (2014). Monitoring spatio-temporal variability of the Adour River turbid plume (Bay of Biscay, France) with MODIS 250-m imagery. *Continental Shelf Research*, 74 (2014), 35-49.

- Rivera, R. C., Zapata, A. A., Pinilla, G., Donato, J., Chaparro B. y Jiménez, P. (2005). Comparación de la estimación de la clorofila-a mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. *Acta biológica Colombiana*, 10(2), 95-103.
- Rizo P. V., Kumar, A., McCoy, C. M., Springer, M., & Trama, F. A. (2013). Macroinvertebrate communities as bioindicators of water quality in conventional and organic irrigated rice fields in Guanacaste, Costa Rica. *Ecological Indicators*, 29 (2013), 68-78.
- Romero, B., Pérez, S. y Rincon, M. (2006). Ephemeroptera del Parque nacional Natural "Cueva de los Guácharos" Huila-Colombia. *Rev. UDCA Actual. Divulg. Cient.*, 9(1), 141-149.
- Sánchez, A. S., Nuñez, R. M. y Trujano, A. (2003). *La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Schneider, S. C. & Lindstrom, E. A. (2011). The periphyton index of trophic status PIT: a new eutrophication metric based on non-diatomaceous benthic algae in Nordic rivers. *Hydrobiology*, 665, 143-155.
- Stevenson, R. J., Pan, Y., & van Dam, H. (2010). Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. In: Smol, J.P. & E. F. Stoermer (Eds.). *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, U.K. Available from: Cambridge Books Online.
- Swiech, T., Ertsen, M. W., & Machicao, P. C. (2012). Estimating the impacts of a reservoir for improved water use in irrigation in the Yarabamba region, Peru. *Physics and Chemistry of the Earth*, 47-48 (2012), 64-75.
- Toro, J., Schuser, J. P., Kurosawa, J., Araya, E. y Contreras, M. (2003). *Diagnóstico de la calidad del agua de sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, Río Maipo (Santiago de Chile)*. Chile: Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.
- Valcárcel, R. L., Macías, A. N. y Fonseca, F. D. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. Cuba: Medio Ambiente y Desarrollo. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, 16, 1-5.
- Valladolid, M., Martínez-Bastida, J. J., Araúzo, M. y Gutiérrez, C. (2006). Abundancia y biodiversidad de los macroinvertebrados del río Oja (La Rioja, España). *Limnetica*, 25 (3), 745-752.
- Vieria, B. L. (2013). *Estado trófico em uma seção do rio Catolé grande sob diferentes níveis de vazão*. Tese Mestre. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brazil.
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., et al. (2010) Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467, 555-561.