DOI: 10.24850/j-tyca-2021-01-02

Artículos

Índice de calidad de agua en la microcuenca altoandina del río Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, Perú

Water quality index in the high-Andean micro-basin of the Chumbao River, Andahuaylas, Apurímac, Peru

David Choque-Quispe¹, ORCID: 0003-4002-7526

Carlos A. Ligarda-Samanez², ORCID: 0000-0001-7519-8355

Aydeé M. Solano-Reynoso³, ORCID: 0000-0002-1835-2210

Betsy S. Ramos-Pacheco⁴, ORCID: 0000-0002-0286-0632

Yadyra Quispe-Quispe⁵, ORCID: 0000-0002-5232-693X

Yudith Choque-Quispe⁶, ORCID: 0000-0002-3690-7267

Aydeé Kari-Ferro⁷

¹Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas, Perú, davidchoqueq@gmail.com

²Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas, Perú, carligarda@hotmail.com

³Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad Tecnológica de los Andes, Andahuaylas, Perú, ayma_21@hotmail.com

⁴Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas, Perú, bsramosp2@gmail.com

⁵Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad Alas Peruanas, Cusco, Perú, yandhy95@gmail.com

⁶Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad Tecnológica de los Andes, Cusco, Perú, yuditchoque@gmail.com

⁷Escuela de Ingeniería Agroecológica, Universidad Micaela Bastidas, Abancay, Perú, akariq14@hotmail.com

Autor para correspondencia: David Choque-Quispe, davidchoqueq@gmail.com

Resumen

El índice de calidad del agua (ICA) de un cuerpo hídrico indica el grado de contaminación para un determinado uso y está relacionado con las actividades antrópicas que suscitan alrededor. El objetivo fue determinar el ICA en la microcuenca altoandina del río Chumbao, Andahuaylas, Perú. El tramo de estudio estuvo comprendido entre la cabecera de cuenca (13° 46' 42.5" S, 73° 13' 50.0" O y 4 295 m de altitud), y el último punto de muestreo (13° 35' 26.4" S, 73°27'0.8" O y 2 529 m de altitud), con

pendiente media de 4 %. El ICA Dinius se evaluó considerando parámetros como nivel de oxígeno (OD y DBO₅); nivel de eutrofización (NO₃⁻ y PO₄³⁻); características físicas (temperatura, turbidez, color y STD); sustancias disueltas (alcalinidad, dureza, pH, conductividad y cloruros), y parámetros microbiológicos (*E. coli* y coliformes totales); se muestreó en temporada de avenidas (02 puntos lénticos y 08 lóticos). Los datos se recolectaron por triplicado y se analizaron a través de un ANOVA, test Tukey y correlación de Pearson al 5 % de significancia. Se encontró que el uso predominante del agua del río es para agricultura, pastura y urbanización; el ICA está distribuido en tres categorías: Excelente (M1, M2, M3, M4 y M5), cercanos a la cabecera de la microcuenca y los puntos lénticos (lagunas de Pampahuasi y Paccoccocha); Aceptable (M6); y Excesivamente contaminado; los puntos M7 y M8 fuera de la zona urbana aguas abajo (*p-value* < 0.05) presentan buena correlación negativa con los parámetros de estudio. En conclusión, el agua en zonas de baja densidad poblacional es buena.

Palabras clave: altoandina, Dinius, ICA, microcuenca, río Chumbao.

Abstract

The water quality index (WQI) of a water body, indicates the degree of contamination for a given use, and it is related to the anthropic activities that they provoke around. The objective was to determine the WQI, in the high-Andean micro-basin of the Chumbao River, Andahuaylas, Peru.

The section of study was included between the head of the basin (13° 46' 42.5" S, 73° 13' 50.0" W and 4 295 m of altitude), and last sampling point (13° 35' 26.4" S, 73° 27' 0.8" W and 2 529 m of altitude), with an average slope of 4%. The ICA Dinius was evaluated considering parameters such as oxygen level (DO and BOD₅), eutrophication level (NO₃⁻ and PO₄³⁻), physical characteristics (temperature, turbidity, color and TDS), dissolved substances (alkalinity, hardness, pH, conductivity and chlorides), and microbiological parameters (*E. coli* and total coliforms); it was sampled during the avenues season (02 lentic points and 08 lotics). The data were collected in triplicate, and analyzed through an ANOVA, Tukey test and Pearson's correlation at 5 % significance. It was found that the predominant use of river water is for agriculture, pasture and urbanization; the WQI is divided into three categories Excellent (M1, M2, M3, M4 and M5) close to the head of the micro-basin and the lentic points (Pampahuasi and Paccoccocha lagoons); Acceptable (M6), and excessively contaminated; points M7 and M8 outside the urban area downstream (p -value < 0.05) present a good negative correlation with the study parameters. In conclusion, the water in areas of low population density is good.

Keywords: High-Andean, Dinius, ICA, micro-basin, Chumbao River.

Recibido: 19/02/2019

Aceptado: 18/04/2020

Introducción

Los ríos pueden contaminarse en su trayecto desde el nacimiento hasta su desembocadura, sobre todo aquellos que trascurren por zonas urbanizadas y transportan niveles excesivos de nitrógeno, fósforo y materia orgánica, que se dispersan a través de las aguas de escorrentía pluvial (Bhatti & Latif, 2011); por otra parte, la mayoría de los ríos se ven afectados por descargas de aguas usadas sin tratar, provenientes de vertederos clandestinos, rellenos sanitarios, y desechos industriales líquidos y sólidos (Mophin-Kani & Murugesan, 2011), lo que genera problemas ambientales y en la calidad de los cuerpos de agua (Blume *et al.*, 2010; Benvenuti, Kieling-Rubio, Klauck, & Rodrigues, 2015); el río Chumbao no es ajeno a esta realidad.

Asimismo, las actividades antrópicas circundantes a la cuenca de un río, como ganadería, agricultura y extracción minera, generan impactos negativos sobre la calidad del agua en un río, sobre todo si la capacidad de autodepuración de cuerpo de agua es baja, o si los componentes

contaminantes no son biodegradables, o presentan trazas de metales disueltos y material inorgánico.

La calidad del agua se evalúa a través de parámetros fisicoquímicos, como pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y otros; además, con indicadores microbiológicos como el *E. coli*, que muestran la actividad antrópica de una región (Froehner, Machado, Botelho, & Cordova-Da-Rosa, 2010; Dhawde *et al.*, 2018; Abbas & Hassan, 2018).

Horton (1965) propuso una forma de cualificar el estado de un cuerpo hídrico a través del índice de calidad de agua (ICA); fue pionero en desarrollar una metodología unificada para su cálculo; sin embargo, el desarrollo e implementación de un ICA de manera formal y demostrada lo realizaron Brown, Macclelland, Deininger y Tozer (1970), con el apoyo de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF), denominado índice NSF y Dinius (Dinus, 1987), basados en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos; consideraron la estructura del índice de Horton y el método Delphi para definir parámetros, pesos ponderados, subíndices y clasificación a ser empleados en el cálculo (Prakirake, Chaiprasert, & Tripetchkul, 2009; Bharti & Katyal, 2011).

La ciudad de Andahuaylas en el Perú y el río Chumbao comparten el mismo espacio en la microcuenca, sin embargo, la ciudad no ha sido capaz de establecer una dinámica positiva de coexistencia con el río: ha cortado sus fluidos naturales, afloramientos y bosques ribereños; utiliza sus aguas para actividades agrícolas en temporada de estiaje,

produciendo diversos vegetales que son comercializados en el mercado local, lo cual podría provocar problemas de salud en la población (Aguirre-Martínez, André, Gagné, & Martín-Díaz, 2018). En ese sentido, el objetivo del trabajo fue evaluar el índice de calidad de agua en la microcuenca altoandina del río Chumbao, cuyos resultados permitirán la priorización de proyectos de saneamiento ambiental en la zona de impacto.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en temporada de avenidas en el mes de marzo de 2018, en la microcuenca del río Chumbao (Figura 1), ubicada en la provincia de Andahuaylas, Apurímac, Perú, en el tramo comprendido entre la cabecera de cuenca ($13^{\circ} 46' 42.5''$ S, $73^{\circ} 13' 50.0''$ O y 4 295 m

de altitud), y el último punto de muestreo ($13^{\circ} 35' 26.4''$ S, $73^{\circ} 27' 0.8''$ O y 2 529 m de altitud); la microcuenca presenta un clima Cwb de acuerdo con Köppen's, con temporadas marcadas, en avenidas con precipitaciones intensas entre octubre y marzo (de 500 a 1 000 mm/año), y temperaturas de 5 a 23 °C, humedad relativa media de 55 %. En la Figura 2 se muestra la distribución de lluvia durante el periodo experimental.

Figura 1. Microcuenca del río Chumbao.

Figura 2. Precipitaciones entre diciembre y mayo de 2018.

Puntos de muestreo

Se identificaron 08 puntos lóticos a lo largo del río Chumbao y 02 puntos lénticos en la cabecera de la microcuenca, correspondientes a las lagunas Pampahuasi y Paccoccocha (Figura 3).

Figura 3. Puntos de muestreo en la microcuenca del río Chumbao.

Esquema metodológico

El estudio se realizó de acuerdo con el esquema metodológico de campo y laboratorio, que se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Flujograma metodológico de trabajo.

Indicadores fisicoquímicos y microbiológicos

Los indicadores como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitratos, fosfatos, sólidos totales disueltos (STD), color, alcalinidad y dureza se determinaron siguiendo la metodología estándar para el análisis de agua y aguas residuales propuesta por la APHA (2012); mientras que el oxígeno disuelto (OD), temperatura, turbidez, pH y conductividad se determinaron considerando el manual de uso de multiparámetro HI 9829, previamente calibrado; por otra parte, los coliformes totales y *E. coli* se cuantificaron a través del uso de Placas Petrifilm 3M.

Determinación de ICA

Se evaluó el ICA según Dinius, considerando los parámetros ponderados mostrados en la Tabla 1, basados en la media geométrica (Ecuación (1)). La categorización de la calidad de los ICA se detalla en la Tabla 2:

$$ICA_m = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \quad (1)$$

Donde ICA_m es el índice de calidad de agua; I_i , el subíndice del parámetro i , y W_i es el factor de ponderación para el subíndice i .

Tabla 1. Ponderación de indicadores para el ICA.

Parámetro	Unidad		Índice de calidad	
			NSF	Dinius
OD	mg O ₂ /l	P1	0.170	0.109
DBO	mg O ₂ /l	P2	0.110	0.097
Nitratos	mg/l	P3	0.100	0.090
Fosfatos	mg/l	P4	0.100	---
Temperatura	°C	P5	0.100	0.077
Turbiedad	NTU	P6	0.080	---
STD	mg/l	P7	0.070	---

Color	PCU	P8	---	0.063
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l	P9	---	0.063
Dureza	mg CaCO ₃ /l	P10	---	0.065
pH	Log[H ⁺]	P11	0.110	0.077
Conductividad	μS/cm	P12	---	0.079
Cloruros	mg/l	P13	---	0.074
<i>E. coli</i>	NMP/100 ml	P14	0.160	0.116
Coliformes totales	NMP/100 ml	P15	---	0.090
Suma			1.00	1.00

Donde Pi = parámetros.

Tabla 2. Categorización Dinius para el ICA.

Calidad	Rango	Color
Excelente	70-100	Azul
Aceptable	60-70	Celeste
Levemente contaminada	50-60	Verde
Contaminada	40-50	Amarillo
Fuertemente contaminada	30-40	Naranja
Excesivamente contaminada	0-30	Rojo

Los parámetros fisicoquímicos estudiados fueron comparados con el agua de Categoría 4: conservación del ambiente acuático para ríos de la sierra, propuesto en el D.S. N° 004-2017-MINAM, Perú (MINAM, 2017).

Análisis estadísticos

Los datos se recolectaron por triplicado, y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y comparación múltiple Tukey; asimismo, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson a un nivel de significancia del 5 %.

Resultados y discusión

En la Tabla 3 se presenta la descripción de la zona de estudio, el 23.6 % se considera como cuenca colectora y, en menor porcentaje, el suelo es destinado para la urbanización e industria urbana; los puntos de muestreo lénticos y lóticos del río Chumbao están distribuidos a través de un recorrido del agua de 40.47 km (Figura 2), presentando tres tramos de pendientes pronunciadas, en el tramo del punto M1 a M3 (18.25 km) la pendiente es de 5.4 %, de M3 a M7 (11.8 km) la pendiente disminuye hasta un valor promedio de 2.2 %, y un último tramo de 5.60 km presenta una pendiente de 4.3 %, las pendientes pronunciadas incrementan la velocidad del agua y consecuentemente permiten una mejor aireación (Rivera, 2011), lo que permite mejorar el potencial de autopurificación del agua en un río (Feria-Díaz, Náder-Salgado, & Meza-Pérez, 2017).

Tabla 3. Uso actual del suelo en la microcuenca del río Chumbao.

Área de influencia	Altitud (m)	Uso actual	Área (km ²)	%
Laguna Pampahuasi-L1	4 212	Reservorio	0.62	---
Laguna Paccoccocha-L2	4 274	Reservorio	0.17	---

M1	4 081	Cuenca colectora	35.3	23.6
M1-M2	4 081-3 198	Agricultura, pastura y cuenca colectora	14.8	9.9
M2-M3	3 198-2 992	Agricultura limitada, pastura limitada y urbanización	21.7	14.5
M3-M4	2 992-2 922	Urbanización e industria	13.3	8.9
M4-M5	2 922-2 875	urbana limitada	10.2	6.8
M5-M6	2 875-2 817	Agricultura limitada, pastura limitada y	21.2	14.2
M6-M7	2 817-2 767	urbanización	12.8	8.6
M7-M8	2 767-2 529	Agricultura, pastura y urbanización limitada	20.0	13.4
Total			149.3	100

En la Tabla 4 se aprecia que el nivel de oxígeno disuelto se incrementa ligeramente en los puntos de muestreo conforme discurre aguas abajo ($p\text{-value} < 0.05$), encontrándose valores mayores a lo recomendado por los estándares de calidad ambiental para el agua (ECA)-Perú (MINAM, 2017); esto se debe sobre todo a la disminución de la altitud (Jacobsen & Brodersen, 2008; Torres, Cruz, Patiño, Escobar, & Pérez, 2010); alta turbulencia causada por la pendiente del río, distribución de las comunidades animales y vegetales (Sanders, 2002),

incrementándose en variedades, desde ichu por encima de 3 000 msnm, y por debajo a eucaliptos, plantas y árboles propios de la zona.

Tabla 4. Valores de indicadores fisicoquímicos y microbiológicos.

	M1			M2			M3			M4			M5		
	$\bar{x}$	$\pm$	s	$\bar{x}$	$\pm$	s	$\bar{x}$	$\pm$	s	$\bar{x}$	$\pm$	s	$\bar{x}$	$\pm$	s
P1	6.97	$\pm$ 0.07		7.33	$\pm$ 0.11		7.55	$\pm$ 0.12		7.34	$\pm$ 0.11		7.37	$\pm$ 0.07	
P2	1.26	$\pm$ 0.13		2.67	$\pm$ 0.28		2.39	$\pm$ 0.25		7.70	$\pm$ 0.81		7.72	$\pm$ 0.70	
P3	0.00	$\pm$ 0.00		0.00	$\pm$ 0.00		0.00	$\pm$ 0.00		0.07	$\pm$ 0.06		0.13	$\pm$ 0.06	
P4	0.07	$\pm$ 0.01		0.04	$\pm$ 0.01		0.06	$\pm$ 0.01		0.15	$\pm$ 0.01		0.11	$\pm$ 0.01	
P5	10.99	$\pm$ 0.11		13.43	$\pm$ 0.20		13.65	$\pm$ 0.21		13.88	$\pm$ 0.21		14.09	$\pm$ 0.21	
P6	42.50	$\pm$ 0.43		36.00	$\pm$ 0.36		36.82	$\pm$ 0.56		50.87	$\pm$ 0.77		45.25	$\pm$ 0.69	
P7	14.02	$\pm$ 0.39		25.04	$\pm$ 0.69		29.05	$\pm$ 0.80		42.07	$\pm$ 1.16		53.10	$\pm$ 1.45	
P8	29.05	$\pm$ 0.80		24.04	$\pm$ 0.66		14.02	$\pm$ 0.39		37.06	$\pm$ 1.02		27.05	$\pm$ 0.74	
P9	0.00	$\pm$ 0.00		0.00	$\pm$ 0.00		0.00	$\pm$ 0.00		0.00	$\pm$ 0.00		12.07	$\pm$ 1.10	

P10	11.48 ± 0.24	23.50 ± 0.49	19.18 ± 0.40	31.25 ± 0.65	26.93 ± 0.56											
P11	7.19 ± 0.08	7.63 ± 0.08	7.36 ± 0.08	7.72 ± 0.09	7.70 ± 0.09											
P12	29.33 ± 1.53	51.00 ± 2.65	60.00 ± 3.61	85.67 ± 4.73	108.0 ± 6.24											
P13	46.93 ± 1.15	17.37 ± 0.83	11.57 ± 0.57	6.30 ± 0.26	10.47 ± 0.47											
P14	0.00	0.00	0.00	692.00	462.00											
P15	15.70	15.70	63.60	1 100.0	1 690.0											
	M6			M7			M8			L1			L2			p-value
	$\bar{x}$	$\pm$ s	$\bar{x}$	$\pm$ s	$\bar{x}$	$\pm$ s	$\bar{x}$	$\pm$ s	$\bar{x}$	$\pm$ s	$\bar{x}$	$\pm$ s				
P1	7.15 ± 0.11	7.30 ± 0.11	7.86 ± 0.08	6.09 ± 0.06	5.92 ± 0.06										> 0.05	
P2	9.70 ± 0.88	14.28 ± 1.30	15.26 ± 1.39	0.05 ± 0.00	0.41 ± 0.04										> 0.05	
P3	0.47 ± 0.12	0.50 ± 0.10	0.97 ± 0.15	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00										> 0.05	
P4	0.18 ± 0.01	0.43 ± 0.02	0.32 ± 0.02	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00										> 0.05	
P5	14.59 ± 0.22	15.08 ± 0.23	15.86 ± 0.24	9.80 ± 0.15	10.02 ± 0.15										> 0.05	
P6	91.00 ± 1.38	112.36 ± 0.92	140.5 ± 1.16	1.43 ± 0.21	0.47 ± 0.42										> 0.05	
P7	75.13 ± 0.96	101.87 ± 1.33	152.5 ± 1.80	39.07 ± 1.10	12.02 ± 0.33										> 0.05	

P8	35.06 ± 0.96	40.33 ± 0.76	18.03 ± 0.50	30.05 ± 0.83	12.02 ± 0.33	> 0.05
P9	20.03 ± 0.55	40.07 ± 1.10	55.09 ± 1.51	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	> 0.05
P10	53.35 ± 1.10	68.09 ± 1.41	54.88 ± 1.13	17.07 ± 0.35	8.84 ± 0.18	> 0.05
P11	7.82 ± 0.09	7.77 ± 0.09	8.05 ± 0.09	6.97 ± 0.07	7.11 ± 0.08	> 0.05
P12	155.0 ± 8.89	204.00 ± 4.58	302.3 ± 8.50	79.67 ± 3.06	25.33 ± 1.53	> 0.05
P13	11.67 ± 0.57	16.63 ± 0.78	30.07 ± 0.96	38.17 ± 1.82	40.13 ± 1.93	> 0.05
P14	1 100.0	2 716.0	2 159.0	11.00	0.00	
P15	2 716.0	3 282.0	2 305.0	36.00	15.70	

Donde $\bar{x}$, media; s, desviación estándar; Pi, parámetros; Mi, puntos lóticos; Li, puntos lénticos.

En cuanto a la DBO₅ (P2), los ríos que atraviesan zonas urbanas reciben efluentes domésticos, industriales y ganaderas normalmente presentan altos valores (Chung, Li, & Chen, 2005; Amado *et al.*, 2006; Bhatti & Latif, 2011); este comportamiento es característico para el río Chumbao (Tabla 4), incrementándose el DBO debido a la presencia de materia orgánica, así como a la pendiente pronunciada del río, lo que mejora la oxigenación (Soon & Seok, 2002).

Los niveles de nitratos (P3) y fosfatos (P4) son bajos en todos los puntos de muestreo, reportándose pequeños incrementos a lo largo del recorrido del río ($p\text{-value} < 0.05$); ello debido al uso de fertilizantes derivados de nitrato (Tully, Lawrence, & Scanlon, 2012), y a la basura que se arroja al río que es fuente de fosfatos (Cieszyńska, Wesolowski, Bartoszewicz, Michalska, & Nowacki, 2012), mientras que en las lagunas no se observa contenido de estas sustancias.

En relación con la temperatura (P5), se incrementa aguas abajo de 10.99 ± 0.11 °C en M1 a 15.86 ± 0.24 °C en M8 ($p\text{-value} < 0.05$); este hecho se debe al cambio del piso altitudinal y al tiempo de muestreo (Rubio-Arias *et al.*, 2017; Gamarra-Torres *et al.*, 2018); mientras que la temperatura del agua en las lagunas L1 y L2 es menor que en los puntos lóticos, lo cual se debe al piso altitudinal y represamiento (Webb, Hannah, Dan-Moore, Brown, & Nobilis, 2008; Arbat-Bofill *et al.*, 2014); esta variable tiene influencia directa sobre la composición química del agua y el OD (Rubio-Arias, Contreras-Carveo, Quintana, Saucedo-Teran, & Pinales-Munguía, 2012).

La turbidez (P6) y los STD (P7) se incrementan aguas abajo, este hecho se debe en gran medida a la erosión natural en temporada de avenidas (Ospina-Zúñiga, García-Cobas, Gordillo-Rivera, & Tovar-Hernández, 2016), así como a la actividad antrópica, sobre todo por desechos domésticos inorgánicos u orgánicos (Almeida & Schwarzbald, 2003); Montoya, Loaiza, Torres, Cruz, & Escobar, 2011), y en gran medida a las actividades extractivas de materiales de construcción civil

que ocasionan problemas en el hábitat acuático y cambios del régimen hidráulico de la corriente debido a la sedimentación causada por el exceso de sólidos sedimentables (Caruso, 2002; Buzelli, Bianchessi, & Cunha-Santino, 2013; Choque-Quispe *et al.*, 2020).

En referencia al color (P8), no se observa incremento significativo aguas abajo y es ligeramente mayor en las zonas urbanas; esto se puede deber a que el color está relacionado con la presencia de sustancias químicas y tóxicas de los desechos domésticos; sin embargo, en las zonas no urbanas, el color se asocia con sustancias como taninos y ácidos húmicos propios de la vegetación nativa (Camargo-Valero & Cruz-Torres, 1999).

La alcalinidad (P9) y dureza (P10) aumentan de forma significativa, disminuyendo la capacidad amortiguadora del agua; sin embargo, los resultados de los puntos de muestreo aguas arriba muestran que la capacidad de neutralizar ácidos es baja, por presentar valores de alcalinidad bajos y son susceptibles de acidificarse.

Por otra parte, los valores de pH (P11) aumentan ligeramente aguas abajo; esta variación se debe sobre todo a la actividad antrópica y sustancias alóctonas y autóctonas que se encuentran en el cauce del río. Este hecho hace que la conductividad (P12) y la concentración de cloruros (P13) se incrementen fuertemente sobre todo en las zonas urbanas (M5, M6, M7 Y M8) debido a la erosión causada por el agua de riego (Tebbutt, 1998) de los campos de cultivos en las zonas altas (M1, M2 y M3); no

obstante, el comportamiento de estos parámetros depende de depósitos de sales y tipos de suelos en las áreas aledañas (Páez-Sánchez, Alfaro-Cuevas, Cortés-Martínez, & Segovia, 2013).

La carga microbiana se aprecia en dos tramos definidos. Una zona (M1, M2 y M3) con presencia de campos de cultivo y áreas de fauna y flora silvestre, donde los niveles de *E. coli* (P14) y coliformes totales (P15) son casi nulos. Otra zona, urbana (M4 en adelante), donde los niveles de P14 y P15 se incrementan drásticamente por la presencia de efluentes domésticos y debido a la actividad pecuaria cuyos residuos como estiércol y purines aumentan los niveles de los coliformes (Olsen, Chappell, & Loftis, 2012; Valenzuela, Godoy, Almonacid, & Barrientos, 2012).

En cuanto a la calidad del agua, el índice Dinius considera los puntos M1 al M5 como excelente (Figura 5), mientras que los puntos M7 y M8 se refieren como excesivamente contaminados, presentando niveles altos de riesgo sanitario (Torres, Cruz, & Patiño, 2009), pudiendo causar enfermedades de origen hídrico al hombre y animales, siendo un comportamiento característico de ríos que atraviesan urbes (De Maria & Moreira, 2007; Rodríguez-Gil, Cáceres, Dafouza, & Valcárcel, 2018).

Figura 5. Variación del ICA Dinius por puntos de muestreo.

La temperatura y el OD están relacionados con las condiciones geográficas de la zona de estudio (Hussein & Ali, 2017) y muestran correlación significativa (> 0.7) (Tabla 5) por la disminución de altitud de 4 081 a 2 529 m. Del mismo modo, la DBO_5 presenta buena correlación con la mayoría de los parámetros en estudio, excepto color y cloruros; esto se debe a que el río Chumbao recibe descarga de materia orgánica residual sólida y líquida, incrementándose los niveles de nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, STD, alcalinidad, dureza, pH, conductividad, que

muestran alta correlación entre ellos (Tabla 5); ello se evidencia más aún por el incremento del nivel de coliformes a lo largo del recorrido del río, evidenciándose contaminación por actividades antrópicas (Vieira *et al.*, 2012; Peeler, Opsahl, & Chanton, 2006; Linden *et al.*, 2015), que es característico de ríos que atraviesan zonas urbanas (Cotorro, Gamarra, & Barboza, 2018; Dhawde *et al.*, 2018; Abbas & Hassan, 2018).

Tabla 5. Correlación de parámetros e ICA.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
P2	0.47														
P3	0.55	0.90													
P4	0.31	0.92	0.80												
P5	0.70	0.86	0.78	0.70											
P6	0.46	0.92	0.98	0.89	0.75										
P7	0.63	0.94	0.98	0.85	0.85	0.97									
P8	-	0.31	0.01	0.40	0.02	0.15	0.02								
	0.61														
P9	0.54	0.92	0.97	0.88	0.77	0.97	0.98	0.05							
P10	0.29	0.93	0.83	0.92	0.82	0.89	0.85	0.43	0.85						
P11	0.57	0.87	0.80	0.65	0.91	0.76	0.84	0.17	0.75	0.79					
P12	0.62	0.95	0.98	0.85	0.85	0.97	1.00	0.03	0.98	0.86	0.84				

P13	-	-0.16	0.13	0.00	-0.49	0.14	0.02	-	0.14	-0.21	-0.36	0.02	
	0.20							0.18					
P14	0.36	0.95	0.85	0.99	0.76	0.93	0.89	0.37	0.92	0.95	0.72	0.89	-
													0.03
P15	0.17	0.92	0.77	0.87	0.76	0.82	0.80	0.51	0.80	0.94	0.76	0.81	-
													0.24
ICA	-	-0.93	-0.90	-0.97	-0.76	-0.95	-0.94	-	-0.96	-0.89	-0.72	-0.93	-
	0.48							0.20					0.08
													-0.98
													-0.81

Los resultados están calculados a un nivel de significancia del 5 %.

Por otra parte, se observa que el ICA muestra correlación significativa negativa con los parámetros estudiados (> 0.72), excepto con OD (P1), color (P8) y cloruros (P13) (Tabla 5), por lo que cualquier variación de estos parámetros fuera de los límites establecidos en los ECA (MINAM, 2017) permitiría conocer de manera indirecta la calidad del agua del río, y eventualmente disminuir su valor, tal como lo consideran González, Caicedo y Aguirre (2013), y Quiroz, Izquierdo y Menéndez (2017).

Conclusiones

El índice de calidad del agua (ICA) del río Chumbao está distribuido en tres categorías bien definidas: excelente (M1, M2, M3, M4 Y M5) cercanos a la cabecera de la microcuenca y los puntos lénticos (lagunas de Pampahuasi y Paccoccocha); aceptable (M6), y excesivamente contaminado, los puntos M7 y M8 fuera de la zona urbana aguas abajo, pudiendo disminuir ante cualquier cambio de los parámetros en estudio a valores fuera de los ECA.

Agradecimientos

A la Vicepresidencia de Investigación de la Universidad Nacional José María Arguedas, por el financiamiento parcial de la investigación.

Referencias

Abbas, A. A. A., & Hassan, F. M. (2018). Water quality assessment of Euphrates River in Gadisiyah province (Diwaniyah River), Iraq. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 49(2), 251-261.

- Aguirre-Martínez, G. V., André, C., Gagné, F., & Martín-Díaz, L. M. (2018). The effects of human drugs in *Corbicula fluminea*. Assessment of neurotoxicity, inflammation, gametogenic activity, and energy status. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 652-663. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.09.042.
- Almeida, M. A. B., & Schwarzbald, A. (2003). Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8(1), 81-97. DOI: 10.21168/rbrh
- Amado, J., Rubiños-Panta, J. E., Gavi-Reyes, F., Alarcón-Cabañero, J. J., Hernández-Acosta, E., Ramírez-Ayala, C., Mejía-Saenz, E., Pedrero-Salcedo, F., Nicolas-Nicolas, E., & Salazar-Sosa, E. (2006). Water quality in the basin of the Amajac River, Hidalgo, Mexico: Diagnosis and prediction. *Phyton*, 75, 71-83. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-56572006000100007&script=sci_abstract&tlng=en
- APHA, American Public Health Association. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (22nd ed.). Washington, DC, USA: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF).
- Arbat-Bofill, M., Sánchez-Juny, M., Bladé, E., Niñerola, D., Dolz, J., & Palau, A. (2014). Hydrodynamics of Ribarroja Reservoir (Ebro River,

- Spain): Water temperature, water velocities and water age. En: Anton, J. S., Giovanni, C., Mario, J. F., & Michael, P. (eds.). *Proceeding of the International Conference on Fluvial Hydraulics* (pp. 1737-1744). Lausanne, Switzerland: Taylor & Francis Group.
- Benvenuti, T., Kieling-Rubio, M. A., Klauck, C. R., & Rodrigues, M. A. S. (2015). Evaluation of water quality at the source of streams of the Sinos River Basin, southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 75(2), 98-104. DOI: 10.1590/1519-6984.1513.
- Bharti, N., & Katyal, D. (2011). Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. *International Journal of Environmental Sciences*, 2(1), 154-173.
- Bhatti, M. T., & Latif, M. (2011). Assessment of water quality of a river using an indexing approach during the low-flow season. *Irrigation and Drainage*, 60(1), 103-114. DOI: 10.1002/ird.549
- Blume, K. K., Macedo, J. C., Meneguzzi, A., Silva, L. B., Quevedo, D. M., & Rodrigues, M. A. S. (2010). Water quality assessment of the Sinos River, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 70(4), 1185-1193. DOI: 10.1590/S1519-69842010000600008
- Brown, R. M., MacClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). Water Quality Index Do We Dare? *Water & Sewage Works*, 117(10), 339-343.

- Buzelli, G., Bianchessi D., & Cunha-Santino, M. (2013). Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita. SP. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 8(1), 186-205. DOI: 10.4136/ambi-agua.930
- Camargo-Valero, M., & Cruz-Torres, L. E. (1999). Sustancias húmicas en aguas para abastecimiento. *Revista Ingeniería e Investigación*, (44), 63-72.
- Caruso, B. S. (2002). Temporal and spatial patterns of extreme low flows and effects on stream ecosystem in Otago, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 257(1-4), 115-133. DOI: 10.1016/S0022-1694(01)00546-7
- Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C. A., Ramos-Pacheco, B. S., Solano-Reynoso, A. M., Choque-Quispe, Y., Peralta-Guevara, D. E., & Quispe-Quispe, Y. (2020). Optimization of the flocculating capacity of natural coagulants in water treatment. *DYNA*, 87(212), 90-95. DOI: 10.15446/dyna.v87n212.80467
- Chung, Y. C., Li, Y. H., & Chen, C. C. (2005). Pollutant removal from aquaculture wastewater using the biopolymer chitosan at different molecular weights. *Journal of Environmental Science and Health*, 40(9), 1775-1790. DOI: 10.1081/ESE-200068058
- Cieszynska, M., Wesolowski, M., Bartoszewicz, M., Michalska, M., & Nowacki, J. (2012). Application of physicochemical data for water-

- quality assessment of watercourses in the Gdansk Municipality (South Baltic coast). *Environmental monitoring and Assessment*, 184(4), 2017-2029. DOI: 10.1007/s10661-011-2096-5
- Cotorro, F., Gamarra, O., & Barboza, E. (2018). Evaluación multivariante de la calidad del agua en la cuenca del Utcubamba (Perú). *Tecnología y ciencias del agua*, 9(5), 33-57. DOI: 10.24850/j-tyca-2018-05-02
- De Maria, C. A. B., & Moreira, R. F. A. (2007). Cafeína: revisão sobre métodos de análise. *Química Nova*, 30(1), 99-105. DOI: 10.1590/S0100-40422007000100021
- Dhawde, R., Surve, N., Macaden, R., Wennberg, A. C., Seifert-Dähnn, I., Ghadge, A., & Birdi, T. (2018). Physicochemical and bacteriological analysis of water quality in drought prone areas of Pune and Satara districts of Maharashtra, India. *Environments*, 61(5), 1-20. DOI: 10.3390/environments5050061
- Dinius, S. H. (1987). Design of an Index of Water Quality. *Water Resources Bulletin*, 23(11), 833-843.
- Feria-Díaz, J. J., Náder-Salgado, D., & Meza-Pérez, S. J. (2017). Deoxygenation and re-aeration rates of the Sinu River. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 1-17. DOI: 10.14482/inde.35.1.8940

- Froehner, S., Machado, K. S., Botelho, D., & Cordova-Da-Rosa, E. (2010). Tracking anthropogenic inputs biomarkers in Barigui River-Brazil. *J. Water, Air, & Soil Pollution*, 210(1), 33-41. DOI: 10.1007/s11270-009-0220-8
- Gamarra-Torres, O. A., Barrena-Gurbillón, M. A., Barboza-Castillo, E., Rascón-Barrios, J., Corroto, F., & Taramona-Ruiz, L. A. (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 25(1) 179-194. DOI: 10.22497/arnaldoa.251.25111.
- González, V., Caicedo, O., & Aguirre, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP. *Gestión y Ambiente*, 16(1), 97-108.
- Horton, R. K. (1965). An index-number system for rating water quality. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 37(3), 300-306.
- Hussein, S., & Ali, S. (2017). Water quality assessment of Al-Gharraf River, South of Iraq using multivariate statistical techniques. *Journal of Al-Nahrain University*, 20(2), 114-122. DOI: 10.22401/JUNS.20.2.16
- Jacobsen, D., & Brodersen, K. P. (2008). Are altitudinal limits of equatorial stream insects reflected in their respiratory performance? *Freshwater Biology*, 53(11), 2295-2308. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2008.02050.x

- Linden, R., Antunes, M. V., Heinzelmann, L. S., Fleck, J. D., Staggemeier, R., Fabres, R. B., Vecchia, A. D., Nascimento, C. A., & Spilki, F. R. (2015). Caffeine as an indicator of human fecal contamination in the Sinos River: A preliminary study. *Brazilian Journal of Biology*, 75(2), 81-84. DOI: 10.1590/1519-6984.0513
- MINAM, Ministerio del Ambiente. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA), Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM-Perú* (10 pp.). Magdalena del Mar, Perú: Ministerio del Ambiente.
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C. H., & Escobar, J. C. (2011). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. *Revista EIA*, 16, 137-148.
- Mophin-Kani, K., & Murugesan, A. G. (2011). Evaluation and classification of water quality of perennial river Tamirabarani through aggregation of water quality index. *International Journal of Environmental Protection*, 1(5), 24-33. DOI: 10.5963/IJEP0105004
- Olsen, R. L., Chappell, R. W., & Loftis, J. C. (2012). Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis—literature review and Illinois River watershed case study. *Water Research*, 46(9), DOI: 3110-3122. 10.1016/j.watres.2012.03.028

- Ospina-Zúñiga, O., García-Cobas, G., Gordillo-Rivera, J., & Tovar-Hernández, K. (2016). Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia). *Ingeniería Solidaria*, 12(19), 19-36. DOI: 10.16925/in.v12i19.1191
- Páez-Sánchez, A., Alfaro-Cuevas, R., Cortés-Martínez, R., & Segovia, N. (2013). Arsenic content and physicochemical parameters of water from wells and thermal springs at Cuitzeo Lake Basin, Mexico. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(12), 7731-7740.
- Peeler, K. A., Opsahl, S. P., & Chanton, J. P. (2006). Tracking anthropogenic inputs using caffeine, indicator bacteria, and nutrients in rural freshwater and urban marine systems. *Environmental Science & Technology*, 40(24), 7616-7622. DOI: 10.1021/es061213c
- Prakirake, C., Chaiprasert, P., & Tripetchkul, S. (2009). Development of specific water quality index for water supply in Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 31(1), 91-104.
- Quiroz, L. S., Izquierdo, E., & Menéndez, E. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), 41-51.

- Rivera, J. V. (2011). Evaluation of organic matter in the cold river supported in QUAL2K version 2.07. *DYNA*, 78(169), 131-139. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532011000500015
- Rodríguez-Gil, J. L., Cáceres, N., Dafouza, R., & Valcárcel, Y. (2018). Caffeine and paraxanthine in aquatic systems: Global exposure distributions and probabilistic risk assessment. *Science of the Total Environment*, 612, 1058-1071. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.066
- Rubio-Arias, H., Contreras-Carveo, M., Quintana, M., Saucedo-Teran, R. A., & Pinales-Munguia, A. P. (2012). An Overall Water Quality Index (WQI) for a Man-Made Aquatic Reservoir in Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(5), 1687-1698. DOI: 10.3390/ijerph9051687
- Rubio-Arias, H., Ochoa-Rivero, J. M., Ortiz-Delgado, R. C., Quintana, R. M., Saucedo-Terán, R. A., & Villalba, M.L. (2017). Water quality using physical-chemical and metal parameters in three contrasting locations of the Conchos river in Chihuahua, Mexico. *Investigación y Ciencia*, 25(70), 13-22. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67451351002>

- Sanders, N. J. (2002). Elevational gradients in ant species richness: Area, geometry and Rapoport's rule. *Ecography*, 25(1), 25-32. DOI: 10.1034/j.1600-0587.2002.250104.x
- Soon, S., & Seok, Y. (2002). A water quality modeling study of the Nakdong River, Korea. *Ecological Modelling*, 152(1) 65-75. DOI: 10.1016/S0304-3800(01)00489-6
- Tebbutt, T. H. Y. (1998). *Principles of water quality control* (5th ed.). DOI: 10.1016/B978-0-7506-3658-2.X5000-9
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- Torres, P., Cruz, C., Patiño, P., Escobar, J. C., & Pérez, A. (2010). Applying water quality indexes (WQI) to the use of water sources for human consumption. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), 86-95. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n3/v30n3a07.pdf>
- Tully, K. L., Lawrence, D., & Scanlon, T. M. (2012). More trees less loss: Nitrogen leaching losses decrease with increasing biomass in coffee agroforests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 161, 137-144. DOI: 10.1016/j.agee.2012.08.002.

- Valenzuela, E., Godoy, R., Almonacid, L., & Barrientos, M. (2012). Calidad microbiológica del agua de un área agrícola-ganadera del centro sur de Chile y su posible implicancia en la salud humana. *Revista Chilena de Infectología*, 29(6), 628-634. DOI: 10.4067/S0716-10182012000700007
- Vieira, J. S., Pires, J. C., Martins, F. G., Vilar, V. J., Boaventura, R. A., & Botelho, C. M. (2012). Surface water quality assessment of Lis River using multivariate statistical methods. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(9), 5549-5561. DOI: 10.1007/s11270-012-12675
- Webb, B. W., Hannah, D. M., Dan-Moore, R., Brown, L. E., & Nobilis, F. (2008). Recent advances in stream and river temperature research. *Hydrological Processes*, 22(7), 902-918. DOI: 10.1002/hyp.6994