

Cafeína y barrido UV-Vis y el índice de calidad de agua en la microcuenca altoandina del río Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, Perú

Caffeine and UV-Vis scanning and the water quality index in the high-Andean watershed of the Chumbao River, Andahuaylas, Apurímac, Perú

M.Sc. David Choque-Quispe^I, M.Sc. Carlos A. Ligarda-Samanez^I, Ing. Betsy S. Ramos-Pacheco^I, Mag. Aydeé M. Solano-Reynoso^{II}, Br. Yadyra Quispe-Quispe^{III}

^IE.P. Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional José María Arguedas, Perú; ^{II}E.P. Ingeniería Ambiental, Universidad Tecnológica de los Andes, Perú; ^{III}E.P. Ingeniería Ambiental, Universidad Alas Peruanas, Perú.

davidchoqueq@gmail.com

Resumen

Las fuentes de agua superficial son recursos para las actividades socioeconómicas, sin embargo estas causan alteración y deterioro, este impacto es medido por el índice de calidad del agua (ICA) y recientemente por contaminantes emergentes. El objetivo fue evaluar el nivel de cafeína y el ICA, en la micro cuenca altoandina del río Chumbao, situada entre 73°38' - 73°11'O y 13°49' - 13°34'S, de 4 800 a 2 000 msnm y área 767,4 km². Se evaluó el ICA según la NSF y Dinius considerando parámetros: Nivel de oxígeno (OD y DBO₅), Nivel de eutrofización (NO³⁻ y PO⁴⁻), Características físicas (Temperatura, Turbidez, Color y TDS), Sustancias disueltas (Alcalinidad, Dureza, pH, Conductividad y Cloruros), Aspectos de salud (*E. coli* y Coliformes); la cafeína se determinó por la cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC); el muestreo fue en temporada de avenidas, en 02 puntos lénticos y 08 lóticos. Se encontró que el uso predominante del agua es para agricultura, pastura y urbanización; la microcuenca presenta pendientes de 5,4 % (18,3 km), 2,2 % (11,8 km) y 4,3 % (5,6 km), los parámetros muestran correlación Rs positiva (p-value < 0,05), superando los estándares de calidad para vida acuática en los puntos urbanizados. No se detectó niveles de cafeína (n.d.>1,09 µg/L). El ICA según NSF y Dinius muestra dos categorías Buena y Muy mala para puntos lóticos; y excelente para las lagunas de la cabecera de cuenca, estas características se evidenciaron por un barrido UV-Vis de 200 a 700 nm.

Palabras clave: índice de calidad de agua; cafeína; barrido UV-Vis.

Abstract

The Surface of water sources are resources for socioeconomic activities, however these cause alteration and deterioration, this impact is measured by the water quality index (IQA) and recently by emerging pollutants. The objective was to evaluate the level of caffeine and IQA, in the high Andean watershed of the Chumbao River, located between 73 ° 38 ' - 73 ° 11' O and 13 ° 49' - 13 ° 34' S, from 4 800 to 2 000 meters above sea level and area 767.4 km². The IQA was evaluated in accordance with the NSF and Dinius, considering parameters: Oxygen level (OD

and BOD₅), Level of eutrophication (NO³⁻ and PO⁴⁻), Physical characteristics (Temperature, Turbidity, Color and TDS), Dissolved substances (Alkalinity, Hardness, pH, Conductivity and Chlorides), Health aspects (*E. Coli* and Coliforms); the caffeine HPLC was determined; the sampling was in season of avenues, in 02 lentic points and 08 lotic. It was found that the predominant use of water is for agriculture, pasture and urbanization; the watershed presents slopes of 5, 4 % (18,3 km), 2,2 % (11,8 km) and 4,3 % (5,6 km), the parameters show positive correlation Rs (p-value <0, 05), exceeding the quality standards for aquatic life in urbanized points. No caffeine levels were detected (n.d.> 1.09 µg / L). The IQA NSF and Dinius show two categories Good and Very bad for lotic points; and excellent for the lagoons of the basin head, these characteristics were evidenced by a UV-Vis sweep of 200 to 700 nm.

Keywords: water quality index; caffeine; UV-Vis sweep.

Introducción

La calidad de vida de la población está relacionada con la calidad de agua y su disponibilidad [1], sin embargo, el crecimiento antropogénico ha generado problemas ambientales en los cuerpos de agua, y el río Chumbao no es ajeno a esta realidad.

La calidad de las aguas subterráneas y superficiales puede ser evaluada a través de parámetros fisicoquímicos y bioindicadores microbiológicos de las especies: *E. coli* y *Enterococcus*, que muestran la actividad antrópica de una región [2,3].

Los ríos pueden contaminarse en su trayecto desde el nacimiento hasta su desembocadura, transportar y acumular contaminantes. Uno de los principales problemas de los ríos que trascurren por zonas urbanizadas es la contaminación con nitrógeno en las aguas de escorrentía pluvial [4]. La mayoría de los ríos se ven afectados por las descargas de aguas usadas sin tratar provenientes de vertederos clandestinos [5].

Horton [6] propuso el uso del índice de calidad de agua (ICA) para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática, y fue pionero en la generación de una metodología unificada para su cálculo; sin embargo, el desarrollo e implementación de un ICA de manera formal y demostrada lo realizaron Brown [7] con el apoyo de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) denominado índice NSF e Dinius, [8] basados en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, ambos consideraron la estructura del índice

de Horton y en el método Delphi para definir los parámetros, pesos ponderados, subíndices y clasificación a ser empleados en el cálculo[9].

Se han realizado estudios sobre marcadores químicos que podrían indicar la presencia de contaminantes fecales humanos en el agua, [10,11] siendo estos más precisos y de rápido análisis en comparación a métodos microbiológicos, uno de ellos es la cafeína, [12,13] que está relacionada a la actividad antrópica en todos sus aspectos [14] presente en algunos fármacos como analgésicos, alimentos y bebidas[15,16]. En ese sentido el objetivo del trabajo fue evaluar el nivel de Cafeína y barrido UV-Vis y su relación con 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.

Métodos utilizados y condiciones experimentales

Área de estudio

El área de estudio seleccionada, correspondió a la microcuenca del río Chumbao situada entre 73°38' - 73°11'O y 13°49' - 13°34'S, con altitudes de 4 800 a 2 000 msnm y área bruta de 767,3 km², pertenece a la Cuenca Pampas y se encuentra ubicada en la Provincia de Andahuaylas, Región Apurímac, Perú (figura 1).

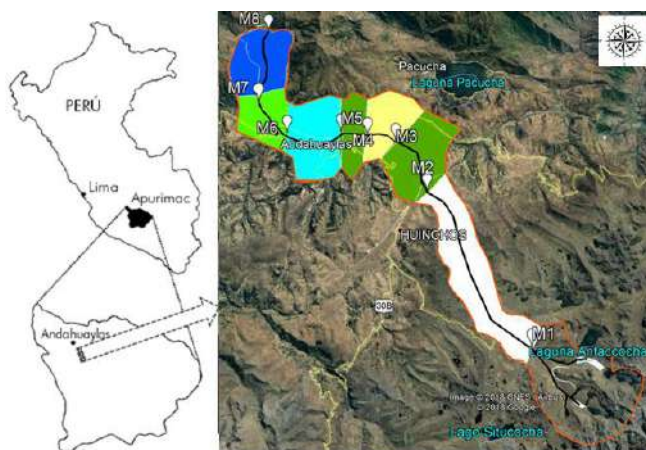


Fig. 1. Microcuenca del río Chumbao

Puntos de muestreo

Fueron evaluados 08 puntos lóticos y 02 puntos lénticos (laguna Pampahuasi y Paccoccocha (figura 2), cuyo perfil altitudinal se presenta en la figura 3.

Esquema metodológico

El estudio se realizó de acuerdo al esquema metodológico de campo y laboratorio, mostrado en la figura 4.

Indicadores fisicoquímicos y microbiológicos

Los indicadores como la DBO, nitratos, fosfatos, solidos totales disueltos (STD), color, alcalinidad y dureza se determinaron tomando en cuenta los métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales, [17] mientras que el oxígeno disuelto (OD), temperatura, turbidez, pH y conductividad se determinaron considerando el manual de uso de multiparametro HI 9829, previamente calibrado, y los Coliformes totales y *E. coli* se cuantificaron a través del uso de Placas Petrifilm 3M. En la figura 2 se muestran los puntos de muestreo en la microcuenca del río Chumbao y en la figura 3 el perfil altitudinal de los puntos de muestreo.

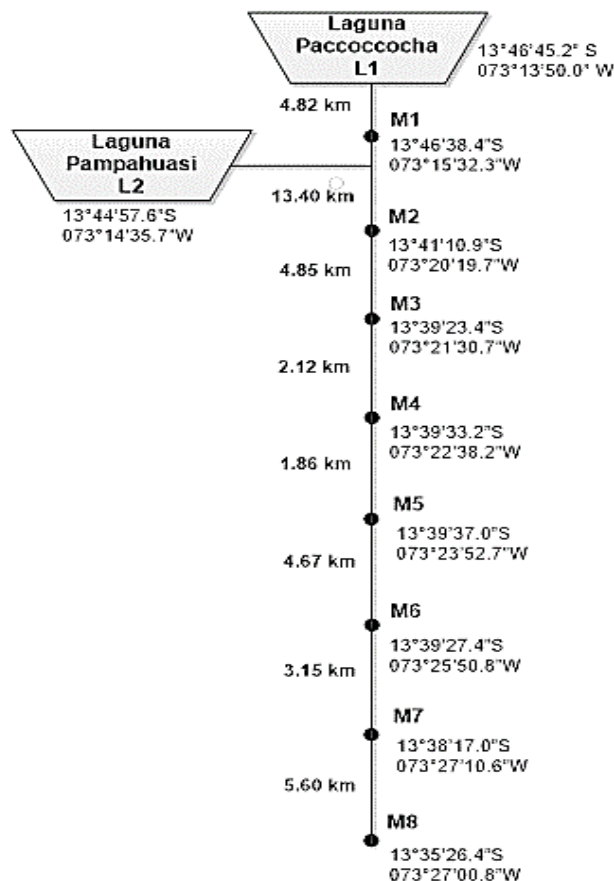


Fig. 2. Puntos de muestreo en la microcuenca del río Chumbao

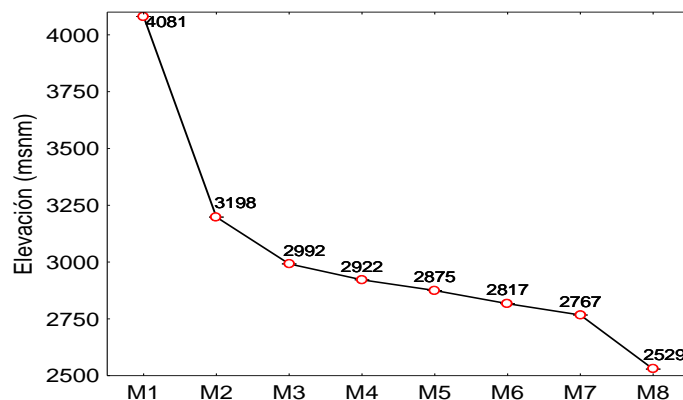


Fig. 3. Perfil altitudinal de los puntos de muestreo

Determinación de cafeína

Se preparó una solución stock de cafeína, con 2,1 mg de cafeína (CAS 58082) en una fiola de 50 mL y se enrasó con agua tipo 1, en seguida se tomó 1 mL de la solución stock y se enrasó con 50 mL de agua tipo 1, a partir de esta solución se elaboró una curva de calibración de 6 puntos con una concentración de 3,28 a 105 ng/mL.

Las muestras de agua se filtraron en filtro Phenomenex 0,45 μm , y en seguida se inyectaron al HPLC, con las condiciones cromatográficas siguientes: Columna: RP-18e (Purospher star 150-4,6 - 5 μm), fase móvil agua – acetonitrilo (8:2), tiempo de análisis 7 min, flujo 1 mL/ min, longitud de onda 276 nm a 25 °C, y volumen de inyección de muestra 20 μL . En la figura 4 se muestra el flujograma metodológico de trabajo.

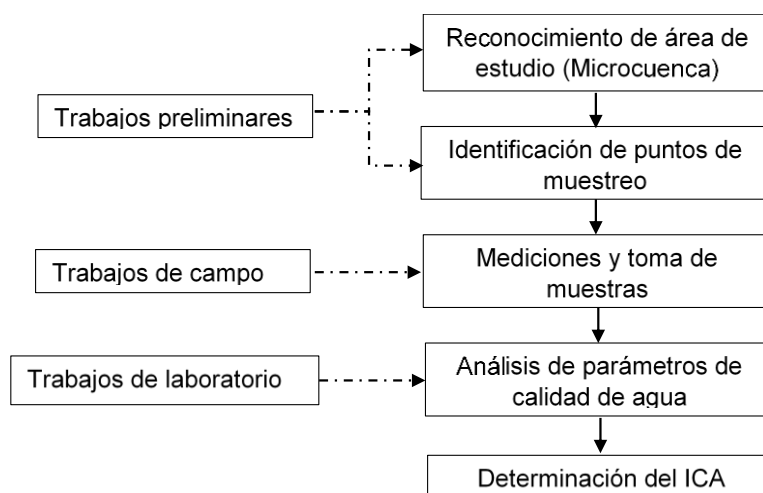


Fig. 4- Flujograma metodológico de trabajo.

Barrido UV-Vis

Las especies atómicas o moleculares que absorben energía en la región UV-Vis fueron detectadas a través del espectro de barrido. Se tomó 4 mL de agua tipo 1, y se transfirió a una cubeta de cuarzo para la calibración del espectrofotómetro, se realizó el barrido de la absorbancia de 200 a 700 nm. Se filtraron 20 mL de muestra de agua en una membrana de acetato de celulosa de 0,45 µm, el filtrado se llevó al espectrofotómetro al intervalo de longitud de onda indicada.

Determinación del ICA

Se evaluó el ICA según la NSF y Dinius, considerando los parámetros ponderados mostrados en la tabla 1, basados en la media geométrica de los parámetros (ecuación 1), la categorización del ICA se detalla en la tabla 2.

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

Donde, *ICA*: índice de Calidad de Agua; *I_i*: Subíndice del Parámetro *i*; *W_i*: Factor de ponderación para el subíndice *i*.

Tabla 1-Ponderación de indicadores para el ICA

Parámetro	Unidad		Índice de calidad	
			NSF	Dinius
OD	mgO ₂ /L	P1	0,170	0,109
DBO	mgO 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 Tot.	NMP/100 ml	P15	---	0,090
Suma			1,00	1,00

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. D.S. N° 004-2017-MINAM, de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

Tabla 2-Categorización de la calidad para el ICA

NSF			Dinius - Vida Acuática		
Calidad	Rango	Color	Calidad	Rango	Color
Excelente	91-100	Azul	Excelente	70-100	Azul
Buena	71-90	Verde	Aceptable	60-70	Celeste
Media	51-70	Amarillo	Levemente Contaminada	50-60	Verde
Mala	26-50	Naranja	Contaminada	40-50	Amarillo
Muy mala	0-25	Rojo	Fuertemente Contaminada	30-40	Naranja
			Excesivamente Contaminada	0-30	Rojo

Análisis estadísticos

Se aplicó análisis de varianza, y comparación múltiple Tukey, a un nivel de significancia del 5 %, se utilizó el paquete estadístico SixSigma V8[18].

Resultados y discusión

El uso actual de los suelos aledaños a la microcuenca altoandina en estudio, está orientada a la agricultura y pastura ya sea limitada o dedicada (tabla 3), 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 (figura 3), 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 mayor de 4,3 %, las permitiendo una mejor aireación⁽¹⁹⁾ y autopurificación del agua en el río [20] .

El OD (P1) (tabla 4), se incrementa ligeramente conforme discurre aguas abajo a los largo de la microcuenca (p-value < 0,05), tomando valores por encima de 5 mg/L como valor referencial considerado en los ECA para Categoría 4: Conservación del ambiente acuático para ríos de la sierra (D.S. N° 004-2017-MINAM- Perú). Este incremento de OD se debe principalmente: a la disminución de la altitud, [21] alta turbulencia del rio, distribución de las

comunidades animales y vegetales, [22] presentando desde ichu por encima de 3 000 msnm.

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

Área de influencia	Altitud (msnm)	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 urbana	13,3	8,9
M4 - M5	2 922 – 2 875	limitada	10,2	6,8
M5 - M6	2 875 – 2 817	Agricultura limitada, Pastura limitada y urbanización	21,2	14,2
M6 - M7	2 817 – 2 767	limitada y urbanización	12,8	8,6
M7 - M8	2 767 – 2 529	Agricultura, pastura y urbanización limitada	20	13,4
Total			149,3	100

Los ríos que atraviesan zonas urbanas reciben efluentes domésticos, industriales y ganaderas normalmente presentan altos valores de DBO₅, [23,24] los valores reportados muestran baja DBO₅ (tabla 4), con incrementos mínimos aguas abajo (p-value < 0,05), debido a la oxigenación, similar comportamiento sucede para los nitratos (P3) y fosfatos (P4), aunque su presencia se debe al uso de fertilizantes derivados de nitrato para cultivos[25], y a la basura que se arroja al río, mientras que en las lagunas no se observa contenido de estas sustancias.

La temperatura (P5), se incrementa aguas abajo de 10,99 ± 0,11 °C en M1 a 15,86 ± 0,24 °C en M8 (p-value < 0,05), este hecho se debe al cambio del piso altitudinal y al tiempo de muestreo, [26,27] en las lagunas L1 y L2, es menor, esto se debe al piso altitudinal y represamiento, [28] esta variable tiene influencia directa sobre la composición química del agua y el OD[29].

Tabla 4-Valores de indicadores fisicoquímicos y microbiológicos

	M1		M2		M3		M4		M5	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
P1	6,97	± 0,07	7,33	± 0,11	7,55	± 0,12	7,34	± 0,11	7,37	± 0,07
P2	1,26	± 0,13	2,67	± 0,28	2,39	± 0,25	7,70	± 0,81	7,72	± 0,70
P3	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,07	± 0,06	0,13	± 0,06
P4	0,07	± 0,01	0,04	± 0,01	0,06	± 0,01	0,15	± 0,01	0,11	± 0,01
P5	10,99	± 0,11	13,43	± 0,20	13,65	± 0,21	13,88	± 0,21	14,09	± 0,21
P6	42,50	± 0,43	36,00	± 0,36	36,82	± 0,56	50,87	± 0,77	45,25	± 0,69
P7	14,02	± 0,39	25,04	± 0,69	29,05	± 0,80	42,07	± 1,16	53,10	± 1,45
P8	29,05	± 0,80	24,04	± 0,66	14,02	± 0,39	37,06	± 1,02	27,05	± 0,74
P9	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	12,07	± 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	108,00	± 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	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
P1	7,15	± 0,11	7,30	± 0,11	7,86	± 0,08	6,09	± 0,06	5,92	± 0,06
P2	9,70	± 0,88	14,28	± 1,30	15,26	± 1,39	0,05	± 0,00	0,41	± 0,04
P3	0,47	± 0,12	0,50	± 0,10	0,97	± 0,15	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
P4	0,18	± 0,01	0,43	± 0,02	0,32	± 0,02	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
P5	14,59	± 0,22	15,08	± 0,23	15,86	± 0,24	9,80	± 0,15	10,02	± 0,15
P6	91,00	± 1,38	112,36	± 0,92	140,5	± 1,16	1,43	± 0,21	0,47	± 0,42
P7	75,13	± 0,96	101,87	± 1,33	152,5	± 1,80	39,07	± 1,10	12,02	± 0,33
P8	35,06	± 0,96	40,33	± 0,76	18,03	± 0,50	30,05	± 0,83	12,02	± 0,33
P9	20,03	± 0,55	40,07	± 1,10	55,09	± 1,51	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
P10	53,35	± 1,10	68,09	± 1,41	54,88	± 1,13	17,07	± 0,35	8,84	± 0,18
P11	7,82	± 0,09	7,77	± 0,09	8,05	± 0,09	6,97	± 0,07	7,11	± 0,08
P12	155,0	± 8,89	204,00	± 4,58	302,3	± 8,50	79,67	± 3,06	25,33	± 1,53
P13	11,67	± 0,57	16,63	± 0,78	30,07	± 0,96	38,17	± 1,82	40,13	± 1,93
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 lóxicos; Li, puntos léxicos.

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, [3] y a la presencia de desechos domésticos inorgánicos u orgánicos [31] y en gran medida a las actividades extractivas de materiales de construcción civil; ocasionando problemas en el hábitat acuático y cambios del régimen hidráulico de la corriente, generando exceso de sólidos sedimentables[32].

En cuanto al color (P8) no se observa incremento significativo aguas abajo, siendo ligeramente mayor en las zonas urbanas, este hecho 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 está asociado a sustancias como taninos y ácidos húmicos propios de la vegetación nativa.

La alcalinidad (P9) y dureza (P10) se incrementan significativamente, 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, siendo susceptibles a acidificarse.

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, lo que hace que la conductividad (P12) y los 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 de los campos de cultivos en las zonas altas (M1, M2 y M3), no obstante el comportamiento de estos parámetros depende del tipo de suelo en las áreas aledañas.

En cuanto a la carga microbiana se aprecian 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, mientras que en las zonas urbanas (M4 en adelante) 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[34,35].

El índice según la NSF para la vida acuática, considera la calidad de agua de los puntos M1, M2 y M3 como buena (figura 5), mientras que el índice Dinius considera los puntos M1 al M5 como excelente (figura 6), ambos índices consideran los puntos M7 y M8 como altamente contaminados, presentando niveles altos de riesgo sanitario, [35] pudiendo causar enfermedades de origen hídrico al hombre y los animales, [36] siendo un comportamiento característico de ríos que atraviesan urbes; [37,38] este comportamiento se puede distinguir a través del barrido UV-Vis (figura 7), donde claramente se observa que los puntos M7 y M8 presentan alta absorbancia, debido a la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas.

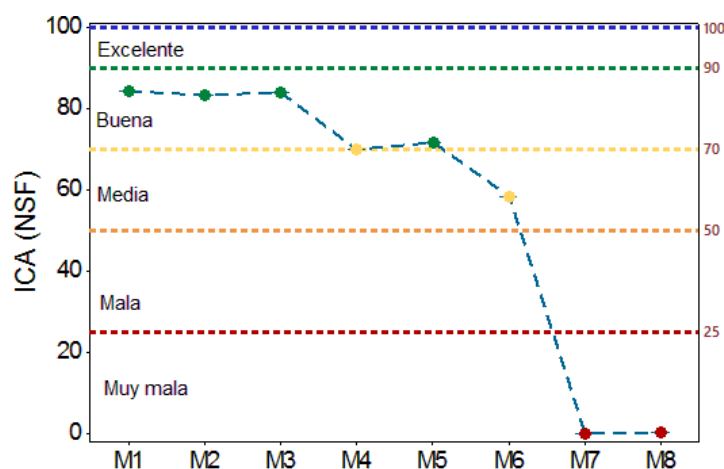


Fig. 5. Variación del ICA NSF en los puntos de muestreo

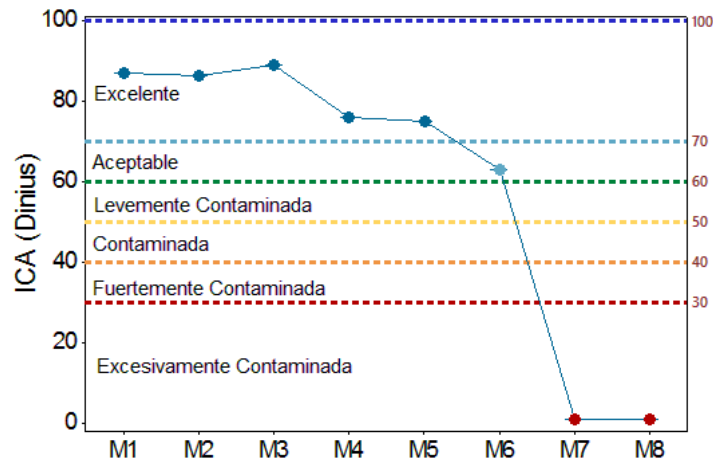


Fig. 6. Variación del ICA Dinius en los puntos de muestreo.

La cafeína es considerado uno de los alcaloides con actividad biológica más ingeridos en el planeta[37] así como bajo la forma de fármacos o en bebidas, en este estudio no se detectaron niveles mayores a los detectados por HPLC (l.d. > 1,09 $\mu\text{g/L}$).

Rodríguez-Gil *et al.* [38] y Sauv  *et al.*, [39] considera que la cafeína podrá considerarse como bioindicador de contaminación fecal, sin embargo los resultados encontrados en el presente trabajo para el *E. coli* son elevados, lo cual no muestra relación con los niveles de cafeína en el agua del río Chumbao, no obstante este hecho, el nivel no detectable de cafeína en el agua se puede deber a la pendiente del río, puesto que puede ocurrir un proceso de degradación de la cafeína durante el curso del agua en el río[13].

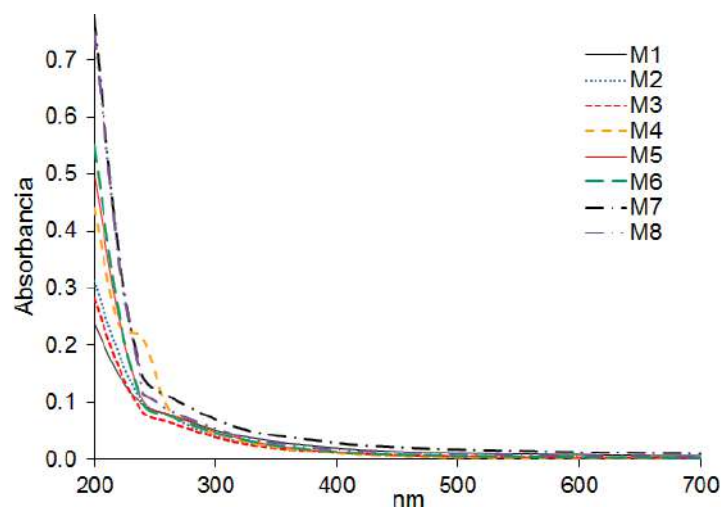


Fig. 7. Barrido UV-Vis de la muestra de agua por puntos de muestreo

Conclusiones

El uso predominante de agua de la microcuenca altoandina del río Chumbao está orientado hacia la agricultura y pastura limitada, el ICA está distribuido en dos categorías Buena y Muy mala o Excelente y Excesivamente contaminado para la vida acuática evaluada a través del ICA según la NSF y Dinius respectivamente, mientras que en los puntos lénticos presentan calidad de excelente, así a través del barrido UV-Vis es posible determinar el estado de calidad del agua.

Referencias Bibliográficas

1. BENVENUTI, T.; KIELING-RUBIO, M.A.; KLAUCK, C.R.; RODRIGUES, M.A.S. "Evaluation of water quality at the source of streams of the Sinos River Basin, southern Brazil". *Brazilian Journal of Biology*. 2015, 75 (2), 98-104. ISSN: 1519-6984.
2. DHAWDE, R.; SURVE, N.; MACADEN, R.; WENBERG, A.C.; SEIFERT-DÄHNN, I.; GHADGE, A.; BIRDI, T. "Physicochemical and Bacteriological Analysis of Water Quality in Drought Prone Areas of Pune and Satara Districts of Maharashtra India". *Environments*. 2018, 61 (5), 1-20. ISSN: 2076-3298.
3. HASSAN, F. M.; ABBAS, A. A. A. "Water quality assessment of Euphrates river in Gadisiyah province (Diwanayah river), Iraq". *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*. 2018, 49 (2), 251-261. ISSN 2410-0862.
4. BHATTI, M.T.; LATIF, M. "Assessment of water quality of a river using an indexing approach during the low-flow season". *Irrigation and Drainage*. 2011, 60 (1), 103-114. ISSN: 1531-0353.
5. MOPHIN-KANI, K.; MURUGESAN, A.G. "Evaluation and Classification of Water Quality of Perennial River Tamirabarani through Aggregation of Water Quality Index". *International Journal of Environmental Protection*. 2011, 1 (5), 24-33. ISSN: 2224-7777.
6. HORTON, R. K. "An index-number system for rating water quality". *Water Pollu. Cont. Fed.* 1965, 37 (3), 300-306. ISSN: 0043-1303.

7. BROWN, R. M.; MACCLELLAND, N. I.; DEININGER, R. A.; TOZER, R. G. "Water Quality Index Do We Dare?". *Water & Sewage Works*. 1970, 117 (10), 339-343. ISSN: 0043-1125.
8. DINIUS, S. H. "Design of an Index of Water Quality". *Water Resources Bulletin*. 1987, 23 (11), 833-843. ISSN: 0043-1370.
9. BHARTI, N.; KATYAL, D. "Water quality indices used for surface water vulnerability assessment". *International Journal of Environmental Sciences*. 2011. 2 (1), 154-173. ISSN: 0976 – 4402.
10. FROEHNER, S.; MACHADO, K.S.; FALCÃO, F.; MONNICH, C.; BESSA, M. "Inputs of domestic and industrial sewage in upper Iguassu, Brazil, identified by emerging compounds". *J. Water, Air, and Soil Pollution*. 2011, 215 (1-4), 251-259. ISSN: 1573-2932.
11. STUART, M.E.; LAPWORTH, D.J. "Transformation Products of Emerging Organic Compounds as Future Groundwater and Drinking Water Contaminants. In: Dimitra A. Lambropoulou; Leo M. L. Nollet. "Transformation Products of Emerging Contaminants in the Environment". Wiley, 2014, pp 65-86. ISBN: 978-1-118- 33959-6.
12. PORCHÉ L. S. "Using Caffeine as a Water Quality Indicator in the Ambient Monitoring Program for Third Fork Creek Watershed, Durham, North Carolina". *Environ Health Insights*. 2015, 9 (2), 29-34. ISSN:1178-6302.
13. KURISSERY, S.; KANAVILLIL, N.; VERENITCH, S.; MAZUMDER, A. "Caffeine as an anthropogenic marker of domestic waste: A study from Lake Simcoe watershed". *Ecological Indicators*. 2012, 23, 501-508. ISSN: 1470-160X.
14. 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. "Caffeine as an indicator of human fecal contamination in the Sinos River: a preliminary study". *Brazilian Journal of Biology*. 2015, 75 (2), 81-84. ISSN: 1678-4375.

15. FERREIRA, A.P. "Caffeine as an environmental indicator for assessing urban aquatic ecosystems". *Cadernos de Saude Pública*. 2005, 21 (6), 1884-1892. ISSN: 1678-4464.
16. AGUIRRE-MARTÍNEZ, G.V.; ANDRÉ, C.; GAGNÉ, F.; MARTÍN-DÍAZ, L.M. "The effects of human drugs in *Corbicula fluminea*. Assessment of neurotoxicity, inflammation, gametogenic activity, and energy status". *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018, **148**, 652-663. ISSN: 0147-6513.
17. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd edition. American Public Health Association, Washington, DC, 2012, p.1496, ISBN: 9780875530130.
18. STATSOFT. Statistica, data analysis software system, version 8.0
19. RIVERA, J.V. "Evaluation of organic matter in the cold river supported in QUAL2K version 2.07". *DYNA*. 2011, 78 (169), 131-139. ISSN: 0012-7353.
20. FERIA-DÍAZ, J.J.; NÁDER-SALGADO, D.; MEZA-PÉREZ, S.J. "Deoxygenation and re-aeration rates of the Sinu river". *Ingeniería y Desarrollo*. 2017, 35 (1), 1-17. ISSN: 2145-9371.
21. TORRES, P.; CRUZ, C.; PATIÑO, P.; ESCOBAR, J.C.; PÉREZ, A. "Applying water quality indexes (WQI) to the use of water sources for human consumption". *Ingeniería e investigación*. 2010, 30 (3), 86-95. ISSN: 2248-8723.
22. SANDERS, N.J. "Elevational gradients in ant species richness: area, geometry and Rapoport's rule". *Ecography*. 2002, 25 (1), 25-32. ISSN: 1600-0587.
23. TOUSIF-BHATTI, M.; LATIF, M. "Assessment of water quality of a river using an indexing approach during the low-flow season". *Irrigation and Drainage*. 2011, 60 (1), 103-114. ISSN: 1531-0361.
24. ALVAREZ A.; 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. "Water quality in the basin of the Amajac river, Hidalgo, Mexico: Diagnosis and prediction". *Phyton*. 2006, 75, 71-83. ISSN: 1851-5657.
25. TULLY, K. L.; LAWRENCE, D.; SCANLON, T. M. "More trees less loss: Nitrogen leaching losses decrease with increasing biomass in coffee agroforests". *Agriculture, ecosystems y environment*. 2012, 161, 137-144. ISSN: 0167-8809.
26. GAMARRA-TORRES, O. A.; BARRENA-GURBILLÓN, M. A.; BARBOZA-CASTILLO, E.; RASCÓN-BARRIOS, J.; CORROTO, F.; TARAMONA-RUIZ, L. A. "Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú". *Arnaldoa*. 2018. 25 (1) 179-194. ISSN: 2413-3299.
27. RUBIO-ARIAS, H.; OCHOA-RIVERO, J. M.; ORTIZ-DELGADO, R. C.; QUINTANA, R. M.; SAUCEDO-TERÁN, R. A.; VILLALBA, M. de L. "Water quality using physical-chemical and metal parameters in three contrasting locations of the Conchos river in Chihuahua, Mexico". *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 2017, (70), 13-22, 2017. ISSN: 1665-4412.
28. ARBAT-BOFILL, M.; SÁNCHEZ-JUNY, M.; BLADÉ, E.; NIÑEROLA, D.; DOLZ, J.; PALAU, A. "Hydrodynamics of Ribarroja Reservoir (Ebro River, Spain): Water temperature, water velocities and water age". In: ANTON, J. S.; GIOVANNI, C.; MARIO, J.F.; MICHAEL, P. (Eds.). *Proceeding of the International Conference on Fluvial Hydraulics (River Flow 2014)*. Lausanne: © Taylor & Francis Group. 2014, pp. 1737-1744. ISBN: 978-1-138-02674-2.
29. RUBIO-ARIAS, H.; CONTRERAS-CARVEO, M.; QUINTANA, M.; SAUCEDO-TERAN, R. A.; PINALES-MUNGUÍA, A. P. "An Overall Water Quality Index (WQI) for a Man-Made Aquatic Reservoir in Mexico". *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2012, 9 (5), 1687-1698. ISSN: 1660-4601.

30. OSPINA-ZÚÑIGA, Ó.; GARCÍA-COBAS, G.; GORDILLO-RIVERA, J.; TOVAR-HERNÁNDEZ, K. "Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia)". *Ingeniería Solidaria*. 2016, 12 (19), 19-36. ISSN: 2357-6014.
31. MONTROYA, C.; Loaiza, D.; TORRES, P.; CRUZ, C.H.; Escobar, J. C. "Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización". *Rev. EIA*. 2011, (16), 137-148. ISSN: 1794-1237.
32. MORETI-BUZELLI, G.; BIANCHESSI DA CUNHA-SANTINO, M. "Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita". *SP. Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. 2013, 8 (1), 186-205. ISSN: 1980-993X.
33. OLSEN, R. L.; CHAPPELL, R. W.; Loftis, J. C. "Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis—literature review and Illinois River watershed case study". *Water research*. 2012, 46 (9), 3110-3122. ISSN: 0043-1354.
34. VALENZUELA, E.; GODOY R.; ALMONACID L.; BARRIENTOS, M. "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*. 2012, 29 (6), 628-634. ISSN: 0716-1018.
35. TORRES, P.; HERNÁN-CRUZ, C.; PATIÑO, P. J. "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*. 2009, 8 (15), 79-94. ISSN: 1692-3324.
36. SABOGAL-PAZ, L.P. "El riesgo sanitario y la eficiencia de los sistemas de tratamiento en la selección de tecnologías para la potabilización del agua: Cali, Universidad del Valle". En María, do C. C.; Davi, G. F. C. *Engenharia Ambiental. Conceitos, Tecnologia e Gestão*. Brasil: © Elsevier Ltd, 2013. ISBN: 978-85-352-6191-2.

37. DE MARIA, C. A. B.; MOREIRA, R. F. A. "Cafeína: revisão sobre métodos de análise". *Química Nova*. 2007, 30 (1), 99-105. ISSN: 0100-4042.
38. RODRÍGUEZ-GIL, J.L.; CÁCERES, N.; DAFOUZA, R.; VALCÁRCEL, Y. "Caffeine and paraxanthine in aquatic systems: Global exposure distributions and probabilistic risk assessment". *Science of The Total Environment*. 2018, 612, 1058-1071. ISSN: 0048-9697.
39. SAUVÉ, S.; ABOULFADL, K.; DORNER, S.; PAYMENT, P.; DESCHAMPS, G.; PRÉVOST, M. "Fecal coliforms, caffeine and carbamazepine in stormwater collection systems in a large urban area". *Chemosphere*. 2012, 86 (2), 118-123. ISSN: 0045-6535.