

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO HUATATAS, APLICANDO EL ICA, REGIÓN AYACUCHO

Edgar G. Aronés Medina, Raúl R. Véliz Flores, Ybar G. Palomino Malpartida
Unidad de Investigación e Innovación de Ingeniería Química y Metalurgia
Programa de Investigaciones en Procesos Industriales – Área de Protección y Control Ambiental
E-mail: edgar.arones@unsch.edu.pe

RESUMEN

El río Huatatas recorre parte de la provincia de Huamanga y en ella se observa que se tiene presencia de actividades antropogénicas, que utilizan el agua del río para agricultura, ganadería, recreación y consumo. Las actividades humanas a lo largo del río Huatatas vienen contaminado sus aguas. El objetivo de la investigación es determinar el valor del Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Huatatas de la región Ayacucho en el año 2017, para ello se ha evaluado los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Huatatas. Se determinaron 04 estaciones de muestreo a lo largo del río, el primero se situó en la parte alta del río y el último en la parte baja antes de la unión con el río Alameda, cuya altitud del área de estudio varía de 2724 a 2552 msnm, en un tramo de aproximadamente 5,40 km, ubicando los lugares de muestreos con el equipo GPS. El tipo de investigación es básica, el nivel de investigación es descriptiva y el diseño de investigación es no experimental. Las muestras se obtuvieron durante el año 2017 de cada una de las de las estaciones de muestreo, en cuatro oportunidades, que comprenden temporadas de estiaje y lluvia. Los parámetros determinados en el campo son la temperatura del agua, pH, conductividad, oxígeno disuelto (%), salinidad, sólidos disueltos totales, presión se midieron con el equipo multiparámetro HI 9828; la turbidez con el turbidímetro y la temperatura ambiental con un termómetro. Los parámetros de fosfatos, nitratos, DBO₅ y coliformes fecales se efectuaron en los laboratorios de la UNSCH. La calidad del agua de la microcuenca del río Huatatas de la región Ayacucho aplicando el método del Índice de Calidad del Agua (ICA) durante el año 2017 se clasifica como buena en la parte alta (RHuat-01) en época de estiaje y de lluvias. En las otras estaciones varía de regular a buena, mostrando un ligero deterioro a medida que avanza su recorrido hasta la estación RHuat-03.

Palabras clave: Índice de Calidad del Agua, ICA, agua, río Huatatas.

EVALUATION OF THE QUALITY OF THE WATER OF THE HUATATAS RIVER APPLYING THE ICA, REGION AYACUCHO

ABSTRAC

The Huatatas river go through part of the province of Huamanga and it's observed that there is presence of anthropogenic activities, which use the river water for agriculture, livestock, recreation and consumption. Human activities along the Huatatas river are polluted their waters. The objective of the investigation is to determine the value of the Water Quality Index (WQI) of the Huatatas River of the Ayacucho region in the year 2017, for which the physicochemical and microbiological parameters have been evaluated to calculate the Water Quality Index (WQI) of the Huatatas river. Four sampling stations were determined along the river, the first was located in the up part of the river and the last one in the down part before the union with the Alameda river, whose altitude of the study area varies from 2724 to 2552 meters above sea level, in a section of approximately 5.40 km, locating the sampling places with the GPS equipment. The type of investigation is basic, the level of investigation is descriptive and the investigation design is non-experimental. The samples were obtained during the year 2017 from each of the sampling stations, in four opportunities, which include seasons of dryness and rain. The parameters determined in the field are water temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen (%), salinity, total dissolved solids, pressure were measured with HI 9828 multi-parameter equipment; the turbidity with the turbidimeter and the ambient temperature with a thermometer. The parameters of phosphates, nitrates, BOD₅ and faecal coliforms were carried out in the laboratories of the UNSCH. The water quality of the micro basin of the Huatatas river of the Ayacucho region using the Water Quality Index (WQI) method during the year 2017 is classified as good in the up part (RHuat-01) during the dry season and rainy season. In the other stations it varies from fair to good, showing a slight deterioration as it progresses to the RHuat-03 station.

Keywords: Water Quality Index, WQI, water, Huatatas river.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de las sustancias más abundantes en la naturaleza, ya que cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie total de la tierra. Sin embargo, a pesar de esta aparente abundancia, existen diferentes factores que limitan la cantidad de agua disponible para el consumo humano. Aproximadamente el 97% del total de agua disponible se encuentra en los océanos y otros cuerpos de agua salina y no se puede utilizar para diversos propósitos. Del 3% restante, casi el 2% se encuentra distribuida en los témpanos de hielo, glaciares, en la atmósfera o mezclada con

el suelo, por lo que no es accesible. Para el desarrollo y sostenimiento de la vida humana, con sus diversas actividades industriales y agrícolas, se dispone aproximadamente de 0,62% del agua restante, que se encuentra en lagos de agua fresca, ríos y mantos freáticos (Arellano & Guzmán, 2011).

En el Perú no solo las principales ciudades y zonas productivas presentan problemas de contaminación ambiental. La provincia de Huamanga, ubicada en la región de Ayacucho, es vista con preocupación la contaminación del río Huatatas que producen las actividades humanas que

generan desechos de origen inorgánico y orgánico.

Un estudio efectuado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en 129 de las 159 cuencas hídricas del país permitió conocer que todos los ríos analizados están contaminados, en diversos sectores, con coliformes termotolerantes (fecales) y metales pesados. La alteración de la calidad del agua destinada para el consumo humano y para actividades agrícolas e industriales se debe principalmente al vertimiento de aguas residuales y residuos sólidos de las poblaciones asentadas cerca de los cauces (Talledo, 2017).

La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica, en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles. Con el objeto de hacer más simple la interpretación de los datos de su monitoreo, se han generado tanto los índices de calidad de agua (ICA), como los índices de contaminación (ICO), los cuales reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación entre técnicos, administradores ambientales y el público en general. La principal diferencia entre unos y otros está en la forma en como ellos evalúan los procesos de contaminación y el número de variables tenidas en cuenta en la formulación respectiva para cada índice (Gomez & Velosa, 2009).

El río Huatatas recorre parte de la provincia de Huamanga y en ella se observa que se tiene presencia de actividades antropogénicas, que utilizan el agua del río para agricultura, ganadería, recreación y consumo. Las actividades humanas a lo largo del río Huatatas vienen contaminado sus aguas. El objetivo de la investigación es determinar el valor del Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Huatatas de la región Ayacucho en la época de estiaje durante el año 2017, para ello se va evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que permitan calcular Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Huatatas. Se determinarán estaciones de muestreo a lo largo del río, ubicando los lugares de muestreos mediante georeferencia con el equipo GPS (Global Positioning System). El tipo de investigación es básica, el nivel de investigación es descriptiva y el diseño de investigación es no experimental.

MATERIAL Y MÉTODOS

1. Área de estudio

El área de estudio abarca los distritos de San Juan Bautista, Andrés Avelino Cáceres Dorregaray y

Tambillo, de la provincia de Huamanga, del departamento de Ayacucho; las zonas del recorrido del río Huatatas, cuya altitud del área de estudio varía de 2724 a 2552 msnm. El estudio se realizó en el año 2017.

Los análisis de las muestras de agua del río Huatatas, se llevaron a cabo en los Laboratorios de Química Analítica y Análisis Instrumental de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

2. Metodología

Inicialmente se realizó una visita preliminar para identificar las estaciones de muestreo representativas. A lo largo del río Huatatas se establecieron cuatro puntos de muestreo para el estudio de la calidad del agua del río Huatatas. El primero se situó en la parte alta del río y el último en la parte baja antes de la unión con el río Alameda.

Para el monitoreo de la calidad del agua del río Huatatas se utilizó el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA). Se efectuaron en dos etapas: In situ se obtuvieron datos de porcentaje de oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH, sólidos disueltos totales, turbiedad y el caudal; y se tomaron muestras para analizar en los laboratorios la dureza, alcalinidad, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, total de sólidos disueltos y coliformes totales.

Las muestras se obtuvieron durante el año 2017 de cada una de las de las estaciones de muestreo, en cuatro oportunidades, del río Huatatas.

Los envases empleados para guardar las muestras fueron de material de polietileno con tapas de seguridad de un litro de capacidad. Cada envase se rotuló con el nombre de la estación de muestreo, nombre del responsable del muestreo, la fecha y hora de la toma de muestra.

A las muestras destinadas a la determinación de los análisis se guardó en un Cooler y se transportó inmediatamente a los laboratorios de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Los métodos de análisis de la composición y los parámetros son:

Tabla 1. Métodos de análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Concepto	Método	Equipo	Unidades
Color	Apreciación sensorial personal	Determinación cualitativa	
Olor	Apreciación sensorial personal	Determinación cualitativa	
Temperatura	Termométrico	Determinación directa	°C
pH	Potenciométrico	Determinación directa	pH
Fosfatos	Colorimétrico, ácido ascórbico	Espectrofotómetro VS	ppm
Nitratos	Espectrofotometría UV	Espectrofotómetro UV	ppm
Oxígeno disuelto		Multiparámetro	%
Sólidos disueltos totales		Multiparámetro	ppm
Demanda bioquímica de oxígeno	Winkler		mg/L
Coliformes fecales	Tubos múltiples		NMP/100 mL
Sólidos totales suspendidos	Gravimetría		ppm
Turbiedad	Nefelométrico	Turbidímetro	NTU
Caudal	Correntómetro	Velocidad (m/s)	L/min

RESULTADOS

1. Estaciones de muestreo

La evaluación del río Huatatas se realizó en un tramo de

aproximadamente de 5,40 km y para la ubicación se utilizó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), siendo registrados en el sistema UTM. Las ubicaciones de las estaciones de muestreo se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Estaciones de muestreo en el río Huatatas.

Estación	Altura (m.s.n.m.)	GPS (Coordenadas UTM)			Descripción
		Zona	Este	Norte	
RHuat-01	2683	18L	587497	8541974	Aproximadamente a 95 m río arriba del puente Santa Rosa de Huatatas.
RHuat-02	2639	18L	587595	8543280	Aproximadamente a 130 m río arriba del puente Huatatas.
RHuat-03	2621	18L	587626	8543695	Aproximadamente a 300 m río abajo del puente Huatatas.
RHuat-04	2553	18L	587790	8547051	Aproximadamente a 480 m río arriba antes del encuentro con el río Alameda.

Las estaciones para la toma de muestras de agua del río Huatatas, se presentan en la figura 1.

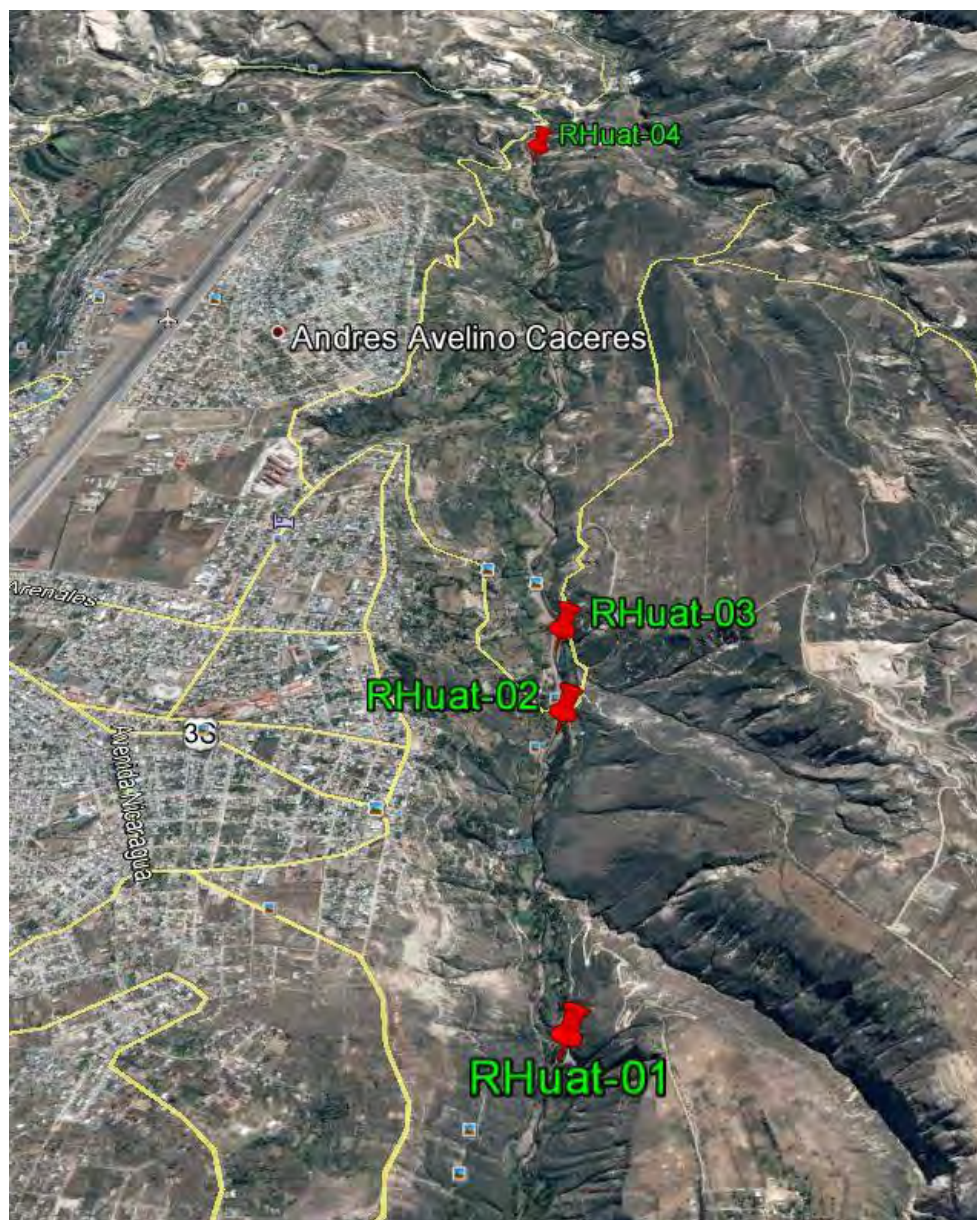


Figura 1. Estaciones de muestreo en el río Huatatas.

2. Parámetros de calidad del agua

Los parámetros determinados en campo y laboratorio de las distintas tomas de muestra de cada una de las estaciones se llevaron a cabo en el año 2017, en las siguientes fechas:

- 1ra toma de muestra: 18 de julio
- 2da toma de muestra: 25 octubre
- 3ra toma de muestra: 23 de noviembre
- 4ta toma de muestra: 29 de diciembre

Para el cálculo del índice de Calidad de Agua (ICA) propuesto por Brown se eligieron los parámetros fisicoquímicos y biológicos de coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto. Los parámetros para cada estación y tiempo muestreados a lo largo de la microcuenca del río Alameda se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 2. Parámetros para el cálculo de ICA, primera toma de muestra.

Parámetro	Estación de Muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	800	2 600	80 000	60 000
pH	7,81	7,70	7,86	7,94
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	2,52	2,25	2,61	2,49
Nitratos (mg/L)	0,0499	0,0166	0,0749	0,0832
Fosfatos (mg/L)	0,0245	0,1086	0,1348	0,1804
Cambio de temperatura (°C)	5,71	6,19	5,66	4,10
Turbidez (NTU)	4,36	4,88	5,95	4,92
Sólidos disueltos totales (mg/L)	58,00	60,00	60,00	91,00
Oxígeno disuelto (% saturación)	90,90	84,90	89,30	94,00

Tabla 3. Parámetros para el cálculo de ICA, segunda toma de muestra

Parámetro	Estación de Muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	70	40	130	80
pH	7,64	7,55	7,61	7,92
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	5,58	4,89	5,43	5,04
Nitratos (mg/L)	0,0957	0,0998	0,0832	0,1705
Fosfatos (mg/L)	0,0455	0,1331	0,1436	0,2119
Cambio de temperatura (°C)	3,67	5,31	6,51	5,16
Turbidez (NTU)	7,00	6,63	10,31	6,70
Sólidos disueltos totales (mg/L)	64,00	65,00	65,00	91,00
Oxígeno disuelto (% saturación)	91,80	53,20	59,10	80,80

Tabla 4. Parámetros para el cálculo de ICA, tercera toma de muestra.

Parámetro	Estación de Muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	2	2	20	2
pH	8,46	7,86	7,91	8,56
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	1,35	1,50	1,38	1,86
Nitratos (mg/L)	0,1913	0,0915	0,2288	0,1040
Fosfatos (mg/L)	0,0438	0,1208	0,1243	0,1716
Cambio de temperatura (°C)	6,72	6,50	6,99	5,79
Turbidez (NTU)	37,90	56,10	61,20	67,30
Sólidos disueltos totales (mg/L)	70,00	71,00	72,00	103,00
Oxígeno disuelto (% saturación)	48,90	40,00	45,90	57,70

Tabla 5. Parámetros para el cálculo de ICA, cuarta toma de muestra.

Parámetro	Estación de Muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	250	750	2 500	2 000
pH	7,40	7,15	7,22	7,32
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	1,95	1,98	1,83	1,86
Nitratos (mg/L)	0,2745	0,2246	0,4201	0,1996
Fosfatos (mg/L)	0,0210	0,0438	0,0928	0,1611
Cambio de temperatura (°C)	5,79	8,16	8,65	7,13
Turbidez (NTU)	74,40	69,50	72,00	74,80
Sólidos disueltos totales (mg/L)	34,00	35,00	35,00	44,00
Oxígeno disuelto (% saturación)	89,20	88,90	77,00	86,20

3. Cálculo del índice de Calidad de Agua (ICA)

Para calcular el ICA se asigna el peso específico (w_i) para cada uno de los parámetros. Luego se determinan los valores de los subíndices (Sub_i) para cada parámetro. Se calcula el ICA con la siguiente ecuación:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

En las siguientes tablas se presentan los valores del peso específico y de los subíndices para cada uno de los parámetros y el resultado del valor del ICA respectivo, para cada una de las estaciones de muestreo.

Tabla 6. Cálculo de Índice de Calidad del Agua, primera toma de muestra.

Parámetro	w_i	Estación de Muestreo							
		RHuat-01		RHuat-02		RHuat-03		RHuat-04	
		Sub_i	$Sub_i * w_i$	Sub_i	$Sub_i * w_i$	Sub_i	$Sub_i * w_i$	Sub_i	$Sub_i * w_i$
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	0,15	24,0	3,60	17,0	2,55	4,0	0,60	5,0	0,75
pH	0,12	88,0	10,56	89,0	10,68	87,0	10,44	84,0	10,08
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	0,10	75,0	7,50	76,0	7,60	74,0	7,40	75,0	7,50
Nitratos (mg/L)	0,10	96,0	9,60	97,0	9,70	95,0	9,50	94,5	9,45
Fosfatos (mg/L)	0,10	96,0	9,60	94,0	9,40	93,9	9,39	93,8	9,38
Cambio de temperatura (°C)	0,10	39,0	3,90	38,0	3,80	39,1	3,91	54,5	5,45
Turbidez (NTU)	0,08	89,0	7,12	88,7	7,10	88,0	7,04	88,8	7,10
Sólidos disueltos totales (mg/L)	0,08	86,0	6,88	85,0	6,80	85,0	6,80	84,0	6,72
Oxígeno disuelto (% saturación)	0,17	95,0	16,15	92,0	15,64	94,0	15,98	96,0	16,32
Índice de Calidad de Agua		ICA ₁ = 74,91		ICA ₂ = 73,27		ICA ₃ = 71,06		ICA ₄ = 72,75	

Tabla 7. Cálculo de Índice de Calidad del Agua, segunda toma de muestra.

Parámetro	w_i	Estación de Muestreo							
		RHuat-01		RHuat-02		RHuat-03		RHuat-04	
		Sub_i	$Sub_i * w_i$	Sub_i	$Sub_i * w_i$	Sub_i	$Sub_i * w_i$	Sub_i	$Sub_i * w_i$
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	0,15	49,0	7,35	55,0	8,25	42,0	6,30	48,0	7,20
pH	0,12	91,0	10,92	92,0	11,04	91,0	10,92	84,0	10,08
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	0,10	52,0	5,20	56,0	5,60	51,0	5,10	55,0	5,50
Nitratos (mg/L)	0,10	94,0	9,40	94,0	9,40	94,5	9,45	93,5	9,35
Fosfatos (mg/L)	0,10	95,9	9,59	93,9	9,39	93,9	9,39	89,0	8,90
Cambio de temperatura (°C)	0,10	55,0	5,50	38,0	3,80	37,9	3,79	43,0	4,30
Turbidez (NTU)	0,08	82,0	6,56	83,0	6,64	76,0	6,08	83,0	6,64
Sólidos disueltos totales (mg/L)	0,08	84,5	6,76	84,5	6,76	84,5	6,76	84,0	6,72
Oxígeno disuelto (% saturación)	0,17	96,0	16,32	44,0	7,48	56,0	9,52	88,0	14,96
Índice de Calidad de Agua		ICA ₁ = 77,60		ICA ₂ = 68,36		ICA ₃ = 67,31		ICA ₄ = 73,65	

Tabla 8. Cálculo de Índice de Calidad del Agua, tercera toma de muestra.

Parámetro	w_i	Estación de Muestreo							
		RHuat-01		RHuat-02		RHuat-03		RHuat-04	
		Sub_i	$Sub_i * w_i$	Sub_i	$Sub_i * w_i$	Sub_i	$Sub_i * w_i$	Sub_i	$Sub_i * w_i$
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	0,15	92,0	13,80	92,0	13,80	63,0	9,45	92,0	13,80
pH	0,12	66,0	7,92	87,0	10,44	84,0	10,08	65,0	7,80
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	0,10	90,0	9,00	85,0	8,50	89,0	8,90	82,0	8,20
Nitratos (mg/L)	0,10	93,5	9,35	94,0	9,40	93,9	9,39	94,0	9,40
Fosfatos (mg/L)	0,10	95,9	9,59	94,0	9,40	94,0	9,40	89,0	8,90
Cambio de temperatura (°C)	0,10	37,9	3,79	37,9	3,79	34,0	3,40	39,0	3,90
Turbidez (NTU)	0,08	48,0	3,84	35,0	2,80	32,0	2,56	30,0	2,40
Sólidos disueltos totales (mg/L)	0,08	85,0	6,80	85,0	6,80	85,0	6,80	83,8	6,70
Oxígeno disuelto (% saturación)	0,17	44,0	7,48	30,0	5,10	35,0	5,95	56,0	9,52
Índice de Calidad de Agua		ICA ₁ = 71,57		ICA ₂ = 70,03		ICA ₃ = 65,93		ICA ₄ = 70,62	

Tabla 9. Cálculo de Índice de Calidad del Agua, cuarta toma de muestra.

Parámetro	w_i	Estación de Muestreo							
		RHuat-01		RHuat-02		RHuat-03		RHuat-04	
		Sub_i	$Sub_i * w_i$	Sub_i	$Sub_i * w_i$	Sub_i	$Sub_i * w_i$	Sub_i	$Sub_i * w_i$
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	0,15	35,0	5,25	24,0	3,60	16,0	2,40	18,0	2,70
pH	0,12	92,0	11,04	91,0	10,92	91,5	10,98	91,7	11,00
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	0,10	85,0	8,50	85,0	8,50	86,0	8,60	86,0	8,60
Nitratos (mg/L)	0,10	93,0	9,30	93,0	9,30	93,5	9,35	93,0	9,30
Fosfatos (mg/L)	0,10	96,0	9,60	95,9	9,59	94,0	9,40	89,0	8,90
Cambio de temperatura (°C)	0,10	39,0	3,90	28,0	2,80	27,5	2,75	33,9	3,39
Turbidez (NTU)	0,08	28,0	2,24	27,0	2,16	27,5	2,20	28,0	2,24
Sólidos disueltos totales (mg/L)	0,08	85,0	6,80	85,0	6,80	85,0	6,80	86,0	6,88
Oxígeno disuelto (% saturación)	0,17	96,0	16,32	95,0	16,15	80,0	13,60	92,5	15,73
Índice de Calidad de Agua		ICA ₁ = 72,95		ICA ₂ = 69,82		ICA ₃ = 66,08		ICA ₄ = 68,74	

A partir de las tablas 6 al 9, establecemos un consolidado de los resultados del ICA, para establecer la variación del Índice de Calidad del Agua del río Huatatas en función a las fechas

de muestreo y las estaciones de muestreo, los mismos que se presentan en las tablas 3.22 y 3.23, y en las figuras 3.2 al 3.5.

Tabla 10. Variación del Índice de Calidad del Agua (ICA) en función a las fechas de muestreo.

Fecha de Muestreo	Nº de Muestreo	Estación de Muestreo			
		RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
18/07/2017	1	74,91	77,60	71,57	72,95
25/10/2017	2	73,27	68,36	70,03	69,82
23/11/2017	3	71,06	67,31	65,93	66,08
29/12/2017	4	72,75	73,65	70,62	68,74

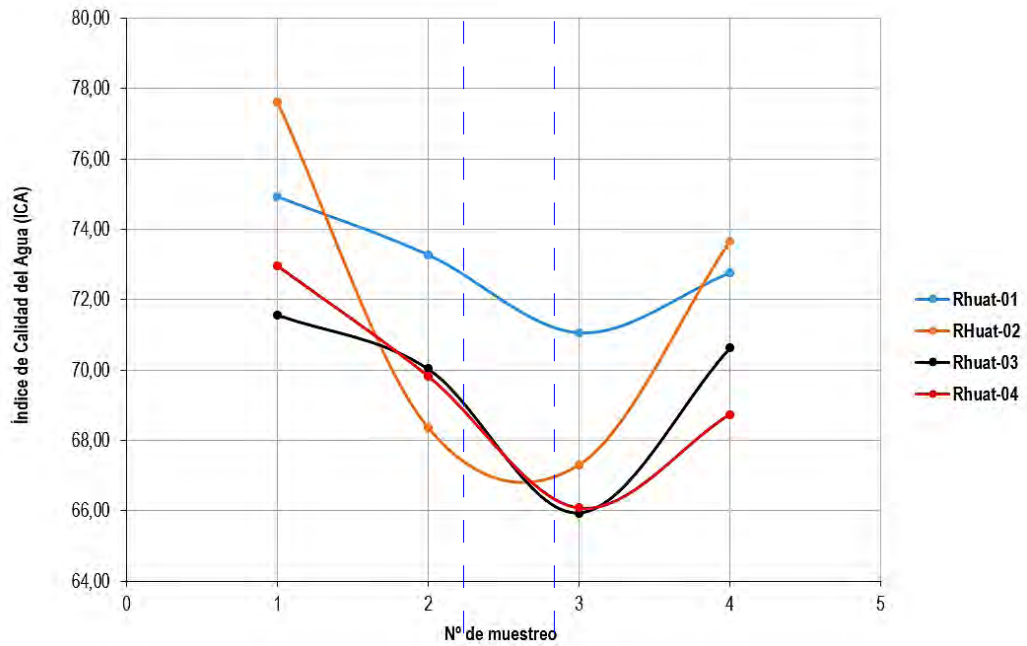


Figura 2. Variación del ICA en función a las fechas de muestreo.

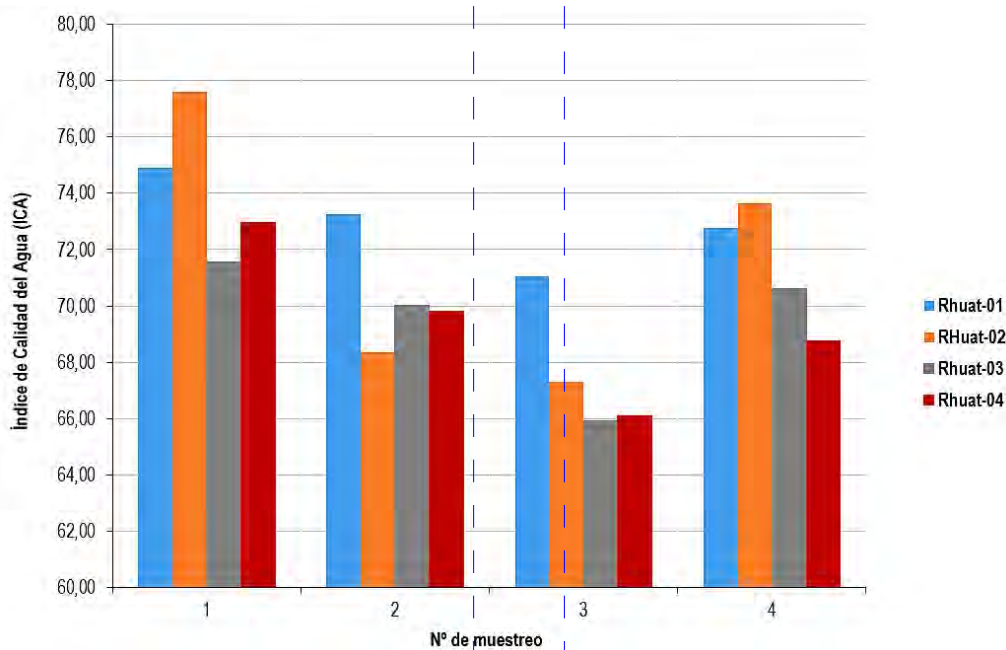


Figura 3. Variación del ICA en función a las fechas de muestreo.

Tabla 11. Variación del ICA en función a las estaciones de muestreo.

Estación de Muestreo	Nº Estación	ICA			
		18/07/2017	25/10/2017	23/11/2017	29/12/2017
RHuat-01	1	74,91	73,27	71,06	72,75
RHuat-02	2	77,60	68,36	67,31	73,65
RHuat-03	3	71,57	70,03	65,93	70,62
RHuat-04	4	72,95	69,82	66,08	68,74

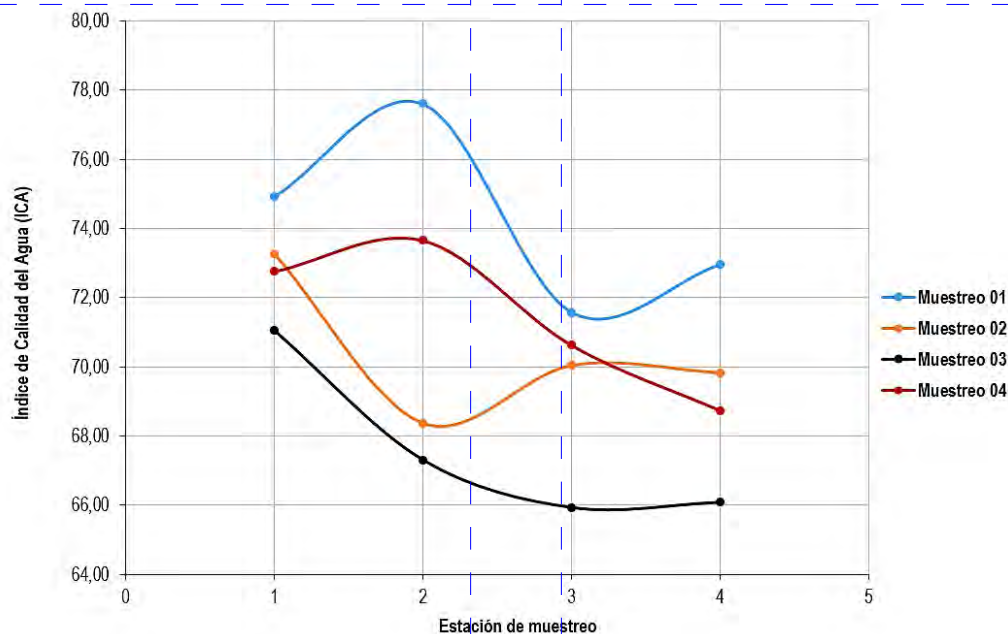


Figura 4. Variación del ICA en función a las estaciones de muestreo.

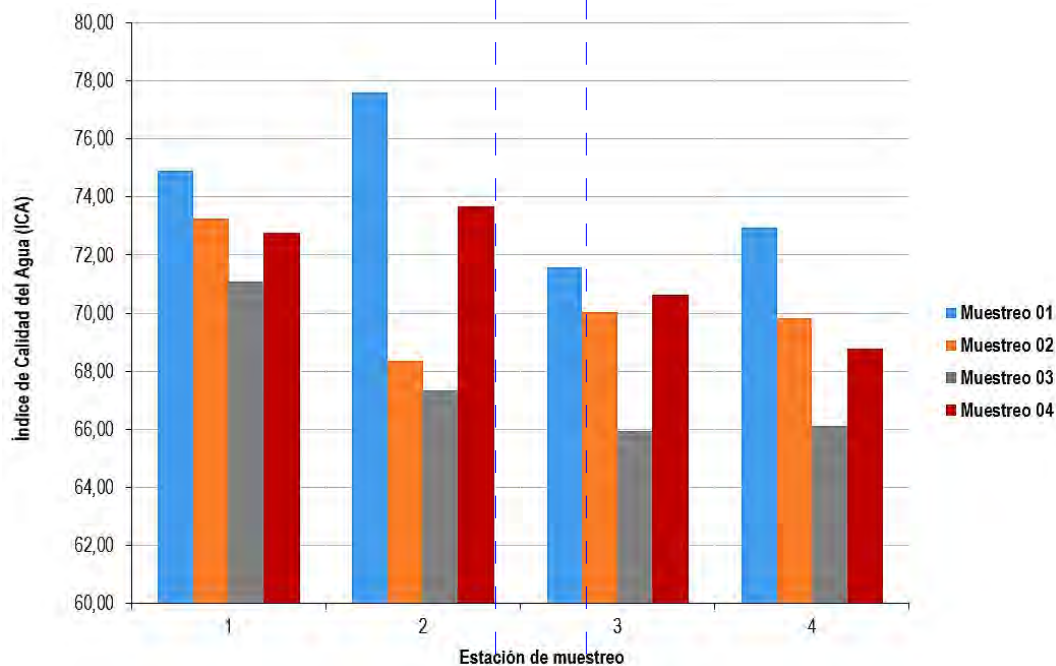


Figura 5. Variación del ICA en función a las estaciones de muestreo.

DISCUSIÓN

El índice de calidad de agua (ICA) por Brown en una versión modificada del “WQI”, que fue desarrollada por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), permite medir los cambios en la calidad del agua en tramos de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no (Bonilla, et al., 2010).

Los parámetros que determinan el Índice de Calidad del Agua por Brown en una versión modificada del “WQI”,

intervienen 9 parámetros que son coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, cambio de temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales y porcentaje saturación de oxígeno. Se observa que tiene mayor peso específico el porcentaje de saturación de oxígeno (17%) y coliformes fecales (15%), representando ambos el 32% del total; y los de menor peso específico la turbidez (8%) y sólidos disueltos totales (8%) representados el 16% del total.

Los resultados determinados del ICA en la tabla 10 y en las figuras 2 y 3, se observa que en la estación de muestreo RHuat-01 (ICA = 71,57 – 77,60) en todas las fechas determinadas es mayor a las demás estaciones de muestreo. Asimismo, en las épocas de estiaje es mayor que en temporada de lluvia. También se puede apreciar que en la

estación de muestreo RHuat-03, ubicado después del puente "Huatatas" son los que tienen menores valores de ICA (ICA = 65,93 – 71,57) en todos los casos evaluados, esto es debido a que en la estación RHuat-03 no se tiene actividades de las personas como el lavado de ropa y vehículos. En la estación RHuat-04 los resultados nos indican que se incrementa los valores del ICA con respecto a la estación RHuat-03.

En la tabla 10, el ICA de la estación de muestreo RHuat-01, el agua del río Huatatas es de buena calidad (ICA = 71 - 90) correspondiente a todas las fechas muestreadas. En la estación de muestreo RHuat-02 en la primera y cuarta fecha de muestreo es de buena calidad y, en la segunda y tercera fecha de muestreo son de calidad regular (ICA = 51 - 70). En la estación de muestreo RHuat-03 en la tercera fecha de muestreo es de calidad regular y en el resto es de buena calidad. En la estación de muestreo RHuat-04 sólo en la primera fecha de muestreo es de buena calidad y el resto es de calidad regular.

En la tabla 11, el ICA en la primera fecha de muestreo en todas las estaciones de muestreo es de calidad buena del agua (ICA = 71,57 – 77,60). En la segunda fecha y la tercera fecha sólo la estación de muestreo RHuat-01 (ICA = 73,27; 71,06) es agua de buena calidad. En la cuarta fecha solamente la estación RHuat-04 (ICA = 68,74) es agua de calidad regular.

En la tabla 6, en la primera fecha de muestreo, los parámetros que afectaron la calidad del agua del río Huatatas fueron: Coliformes fecales (Sub, desde 4 hasta 24), DBO₅ (Sub, desde 74 hasta 76) y cambio de temperatura (Sub, desde 38 hasta 54,5).

En la tabla 7, en la segunda fecha de muestreo, los parámetros que afectaron la calidad del agua del río Huatatas fueron: Coliformes fecales (Sub, desde 42 hasta 55), DBO₅ (Sub, desde 51 hasta 56) y cambio de temperatura (Sub, desde 37,9 hasta 55).

En la tercera fecha de muestreo, tabla 8, los parámetros que afectaron la calidad del agua del río Huatatas fueron: Cambio de temperatura (Sub, desde 34 hasta 39), turbidez (Sub, desde 30 hasta 48) y oxígeno disuelto (Sub, desde 30 hasta 56).

En la cuarta fecha de muestreo, tabla 9, los parámetros que afectaron la calidad del agua del río Huatatas fueron: Coliformes fecales (Sub, desde 18 hasta 35), cambio de temperatura (Sub, desde 27,5 hasta 39) y turbidez (Sub, desde 27 hasta 28).

Respecto a los sólidos disueltos totales y la conductividad, se observa que se incrementa desde la parte alta a la baja en el trayecto del río Alameda en todos los casos de monitoreo. Esto demuestra que en el curso del río la introducción e incremento de sales y residuos, lo que afecta al cuerpo de agua.

La concentración de los fosfatos, presenta un aumento significativo a lo largo de la microcuenca del río Alameda. El incremento de los fosfatos se debe a que, a lo largo del río se tiene personas que utilizan el agua para el lavado de ropas y vehículos, utilizando para ello detergentes.

Para la estación de muestreo RHuat-01 el parámetro que afectó la calidad del agua en todas las fechas muestreadas es el cambio de temperatura. En época de lluvias el parámetro que afectó la calidad del agua fue la turbidez.

Para todas las estaciones de muestreo del río Huatatas, los parámetros que afectaron la calidad del agua en todas las fechas muestreadas es el cambio de temperatura, sólidos disueltos totales, conductividad y fosfatos. Adicionalmente, en época de lluvias el parámetro que afectó la calidad del agua fue la turbidez.

La calidad del agua de la microcuenca del río Huatatas de la región Ayacucho aplicando el método del Índice de Calidad del Agua (ICA) en el año 2017 se clasifica como buena en la parte alta (RHuat-01) en época de estiaje y de lluvias. En las otras estaciones varía de regular a buena, mostrando un ligero deterioro a medida que avanza su recorrido hasta la estación RHuat-03.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcarraz, T., Barboza, G., Córdova, M. & Zegarra, A., 2013. *Características físico-químicas y determinación de la calidad del agua del río Yucaes, Ayacucho - 2013*, Ayacucho: UNSCH.

Aldana, M. & Zacarias, E., 2014. Índice de calidad de agua del río Cucabaj ubicado en el municipio de Santa Cruz del Quiché, Quiché y la influencia en los costos del tratamiento de potabiliza. *Ciencia, Tecnología y Salud*, I(1), pp. 21-34.

ANA, 2017. *Marco legal: Autoridad Nacional del Agua*. [En línea]. Available at: <http://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/marco-legal> [Último acceso: 28 Diciembre 2017].

Arellano, J. & Guzmán, J., 2011. *Ingeniería Ambiental*. Primera ed. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.

Bonilla, B. y otros, 2010. *Metodología analítica para la determinación del índice de calidad del agua (ICA)*. Primera ed. El Salvador: Universitaria (UES).

Cristhian, G. D., 2009. *Química Analítica*. Sexta ed. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S. A. DE C. V.

Gomez, S. & Velosa, A., 2009. *Cálculo de cargas e índices de contaminación en la cuenca principal del río Pamplonita*, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Manahan, S., 2007. *Introducción a la Química Ambiental*. Primera ed. México: Editorial Reverté, S.A.

Sierra, C., 2011. *Calidad del agua*. Primera ed. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.

Smith, T. & Smith, R., 2007. *Ecología*. Sexta ed. Madrid: Pearson Educación, S.A.

Talledo, J., 2017. Más de cien ríos están contaminados con coliformes o metales. *El comercio*.

Teves, B., 2016. *Estudio físicoquímico de la calidad del agua del río Caca, Región Lima*, Lima: PUCP.