






Calidad ambiental del agua mediante indicadores fisicoquímicos y bacteriológico: quebrada El Águila y Piuranito en la ciudad de Tingo María

Environmental quality of water through physicochemical and bacteriological indicators: El Águila and Piuranito streams in the city of Tingo María

 **Luis Eduardo Oré Cierto**
Universidad Nacional Agraria de la Selva
luisore21793@gmail.com

 **Wendy Caroline Loarte Aliaga**
Consultor Constructor & Auditor LEOC E.I.R.L.
wendy_loarte_aliaga@outlook.com.pe

 **José Kalión Guerra Lu**
Universidad Nacional Agraria de la Selva
jose.guerra@unas.edu.pe

RESUMEN

El agua es ampliamente utilizada en actividades diarias que modifican su calidad por el vertimiento de desechos domésticos e industriales sin tratamiento previo y que constituyen una fuente constante de deterioro. Los índices de calidad de agua (ICA), son herramientas matemáticas que integran información de varios parámetros, permitiendo transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua.

En la presente investigación se determinó el Índice de Calidad de Agua mediante la metodología del ICA-PE y se establecieron las frecuencias de monitoreos mediante “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” (R.J N°010-2016-ANA) en las Quebradas El Águila y El Piruanito pertenecientes a la Ciudad de Tingo María; los parámetros fisicoquímicos (temperatura, conductividad, OD, DBO5, pH, cadmio, plomo y zinc), microbiológicos (Escherichia coli) fueron evaluados por: periodo de monitoreo (dentro de 3 meses: febrero, marzo y abril) y por altitudes (alta, media y baja) y parámetros morfométricos. Obteniendo que los parámetros fisicoquímicos de ambas quebradas se encontraban dentro de lo establecido en los Estándares de Calidad del Agua (con subcategoría A1 y D1), a excepción de OD, DBO5, plomo y cadmio; y en el parámetro microbiológico evaluado existe presencia de E.coli en la parte media y baja de ambas quebradas. Con los datos obtenidos se calculó el ICA-PE indicando una calidad “Mala” en ambos cuerpos de agua y una significancia de calidad y altitud que obedece al comportamiento “a menor altura la calidad de agua desciende según el uso establecido”.

Palabras clave: Calidad de agua, parámetros fisicoquímicos, parámetros microbiológicos, índice de calidad de agua.

ABSTRACT

Water is widely used in daily activities that modify its quality due to the dumping of domestic and industrial waste without prior treatment and which constitutes a constant source of deterioration. Water quality indices (ICA) are mathematical tools that integrate information from various parameters, allowing large amounts of data to be transformed into a single scale for measuring water quality.

In the present investigation, the Water Quality Index was determined through the ICA-PE methodology and the monitoring frequencies were established through the "National Protocol for Monitoring the Quality of Surface Water Resources" (R.J N°010-2016- ANA) in the El Águila and El Piuranito Ravines belonging to the City of Tingo María; Physicochemical parameters (temperature, conductivity, DO, BDO5, pH, cadmium, lead and zinc), microbiological (*Escherichia coli*) were evaluated by: monitoring period (within 3 months: February, March, and April) and by altitudes (high, medium and low) and morphometric parameters. Obtaining that the physicochemical parameters of both streams were within those established in the Water Quality Standards (with subcategory A1 and D1), except for DO, BOD5, lead, and cadmium; and in the microbiological parameter evaluated there is the presence of *E.coli* in the middle and lower part of both streams. With the data obtained, the ICA-PE was calculated, indicating a "Bad" quality in both bodies of water and a significance of quality and altitude that obeys the behavior "at lower altitudes, the quality of water decreases according to the established use".

Keywords: Water quality, physicochemical parameters, microbiological parameters, water quality index.

INTRODUCCIÓN

El agua es ampliamente utilizada en actividades diarias que modifican su calidad por el vertimiento de desechos domésticos e industriales sin tratamiento previo y que constituyen una fuente constante de deterioro.

Durante los últimos años la Administración Local de Agua-Tingo María (ALA -TM) viene realizando un conjunto de monitoreos de la calidad de agua obteniendo resultados que conllevan a que las fuentes han sido alteradas debido a las diversas actividades antropogénicas que se realizan alrededor de ellas. En el último monitoreo realizado el año 2017, el resultado obtenido de la evaluación nos dice que la Quebrada El Águila presenta coliformes termotolerantes, *E.coli* muy elevados conforme al rango propuesto por el ECAS

al cual ha sido designado, esto muestra que la influencia de las viviendas aledañas al cuerpo de agua está ocasionando la alteración. En cuanto a la Quebrada El Piurano, no ha sido evaluado en años anteriores, por razones que se desconocen, por lo que se requiere conocer la calidad del agua que este posee. Para ello la ANA estableció en el año 2012 una propuesta metodológica por el Canadian Council of Ministers of the Environment, conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés) para la determinación del índice de calidad de agua para facilitar de esta forma la evaluación de los recursos hídricos durante los monitoreos realizados.

En la presente práctica pre profesional se evaluarán dos cuerpos de agua: EL Águila y El Piuranito pertenecientes a la ciudad de Tingo María, para determinar el índice de calidad ambiental al cual se



encuentran, de manera que se pueda tener conocimiento sobre el estado actual en el que se encuentran los cuerpos de agua y de esta forma ver para que ECAS está direccionado y tomar mejores decisiones entorno a su gestión y manejo. El presente trabajo de investigación tiene por objetivo evaluar el Índice de Calidad de las aguas de las quebradas El Águila y El Piurano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de las zonas de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en época de lluvia, en las Quebradas El Águila y El Piuranito ubicados en el Distrito de Rupa Rupa, Provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco.

Descripción de las actividades que se realizan en el recorrido de las quebradas hacia su desembocadura

Quebrada El Águila. Las actividades que se desarrollan en la parte alta son de captación de agua, instalación de reservorio y desinfectante para su respectivo consumo de la zona de Sven Ericson; en la parte media se ve afectada por el vertimiento doméstico y el arrojo de los residuos sólidos; en la parte baja, a 50m de su desembocadura la incidencia de una vivienda continúa realizando sus vertimientos residuales al cuerpo de agua, generando un ambiente contaminando y maloliente.

Quebrada El Piuranito. Las actividades que se desarrollan en la parte alta son de captación de agua, instalación de reservorio y desinfectante para su respectivo consumo de la zona de 10 de Noviembre y 11 de Noviembre; en la parte media se ve afectada por el vertimiento doméstico y el arrojo de los residuos sólidos; en la parte baja la quebrada es usada como canaletas (Jr. Aguaytía)

que aglomeran residuos sólidos provenientes de las casas y de la falta de educación de los transeúntes.

Características climatológicas

La provincia de Leoncio Prado presenta un clima tropical, cálido y húmedo, con características diferenciadas por la variación de temperatura y volumen de precipitación pluvial (SENAMHI, 2019). La variación térmica es elevada y puede alcanzar 20°C de diferencia con mínimos de 18°C y máximos de 38°C lo que se traduce en ciclos climáticos más acentuados. El territorio pertenece a la región natural Rupa Rupa o Selva Alta, con una zona de vida de bosque muy húmedo montano tropical (bmh-mt) que propicia el crecimiento de abundante vegetación arbórea y arbustiva, y un clima cálido húmedo lluvioso con abundantes precipitaciones pluviales durante 5 meses del año, estimándose una precipitación media anual de 2,905.7mm. El clima del alto Huallaga se clasifica como sub-húmedo, la combinación de calor y lluvias extremas dan como resultados índices de humedad relativa altas. La humedad relativa media fluctúa entre 80 y 90% y el ritmo de variación corresponde al ciclo de lluvias; durante la estación seca, se registran los más bajos promedios. Por tanto, la humedad relativa mensual promedio es de 85.67% y su ritmo de variación está de acuerdo al ciclo de lluvias, es así que durante la estación de lluvias se registra una mayor humedad (Sias, 2014).

Materiales y Equipos

Materiales

De campo: Guantes desechables, mascarilla, botas, envases de vidrio, couler, una pelotita de tecnopor, cinta métrica, etiquetas, marcador indeleble, libreta de apuntes, encuestas.

De laboratorio: Vaso de precipitado, caja Petri.



Equipos y Software

Garmin GPS MAP 62Sc y baterías, multiparametro marca Ponsel, espectrofotómetro de absorción atómica SpectrAAA, OD equipo marca HANNA modelo HI 9146, cámara fotográfica marca canon, QGIS, Google Earth Pro, Microsoft Excel 2016, Microsoft Word 2016.

Metodología

Como punto de partida para la determinación del Índice de Calidad del agua (ICA-PE) de las

Quebradas El Águila y El Piuranito para fines poblacionales se elaboró un plan de monitoreo establecido en la R.J N°010-2016-ANA; separando en tres etapas: Etapa de Premonitoreo, Etapa de Monitoreo y Etapa de Posmonitoreo, las cuales se designan en la sección Campo las dos primeras y la sección Laboratorio y Gabinete la última respectivamente:

Tabla 1

Planificación del monitoreo de las Quebradas El Águila y El Piuranito

Fase de campo		Fase de gabinete
Premonitoreo	Monitoreo	Posmonitoreo
Planificación del monitoreo.	Reconocimiento del entorno.	Análisis microbiológico de las muestras por el Laboratorio de Microbiología de la UNAS.
Establecimiento de la red de puntos de monitoreo en la parte alta, media y baja del cuerpo de agua.	Rotulado y etiquetado.	Análisis de metales pesados de las muestras por el Laboratorio de Análisis de Suelos de la UNAS.
Codificación de los puntos de muestreo.	Medición de las condiciones hidrográficas de las Quebradas El Águila y El Piuranito.	Procesamiento y revisión de datos de los análisis.
Frecuencia en el monitoreo.	Georreferenciación de los puntos de monitoreo.	
Elección de los parámetros recomendados a evaluar en el monitoreo de la calidad del agua de la Quebradas El Águila y El Piuranito.	Medición de los parámetros de campo.	
Preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección.	Toma de muestra.	
Seguridad en el trabajo de campo.	Preservación.	
	Rotulado y etiquetado de las muestras de agua.	
	Transporte de las muestras.	

Etapa de campo

Puntos de monitoreo. Los criterios más resaltantes que se tomaron en cuenta para el establecimiento de los puntos de muestreo con respecto a la ANA (2016) son los siguientes:

En la naciente del recurso hídrico, la cual se ubica generalmente en la cabecera de cuenca; es por ello que el primer punto de monitoreo es la parte alta de las Quebradas El Águila y El Piuranito.

Se tomó un segundo punto de monitoreo en la parte media de las Quebradas El Águila y El Piuranito.

Aguas debajo de las Quebradas El Águila y El Piuranito.

Frecuencia del muestreo. Por cada punto de monitoreo se establecieron cinco mediciones a lo largo del mes de febrero hasta abril.

Tabla 2

Número de muestreo por cada punto de monitoreo en las Quebradas El Águila y El Piuranito

Monitoreo de las Quebradas El Águila y El Piuranito			
Puntos de monitoreo	N° Puntos de monitoreo	Periodo del monitoreo	Época
		Mes	
Parte alta, media y baja	2	Febrero	Húmeda
	2	Marzo	
	1	Abril	



Codificación del punto de muestreo. Según ANA (2016) el código de cada punto de muestreo ubicado en cuerpos de agua continental está conformado por los siguientes elementos:

[Sigla del tipo de cuerpo de agua][Sigla del nombre del cuerpo de agua][Numeración continua]. La codificación de los puntos de monitoreo para el cuerpo de agua a evaluar es:

El Águila

Sigla del tipo de cuerpo de agua: Q ... (Quebrada)

Sigla del nombre del cuerpo de agua: Eagu... (El Águila)

Numeración continua: 1,2,3 ... (Alta, media y baja)

El Piuranito

Sigla del tipo de cuerpo de agua: Q ... (Quebrada)

Sigla del nombre del cuerpo de agua: Epiu ... (El Piuranito)

Numeración continua : 1,2,3 ... (Alta, media y baja)

Asimismo, se georreferenció en coordenadas UTM (WGS84 18s), con la ayuda del equipo GPS Garmin para cada punto de monitoreo tal y como se muestra en el Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 3

Codificación de la red de puntos de monitoreo de la calidad de agua de la Quebrada El Águila

Nº	Cod.	Descripción del punto de monitoreo	Zona	Este (m) WGS84	Norte (m)WGS84
1	QEagu1	Quebrada El Águila en la parte alta de la cuenca.	18L	391 739	8 971 015
2	QEagu2	Quebrada El Águila en la parte media de la cuenca.	18L	390 043	8 971 503
3	QEagu3	Quebrada El Águila en la parte baja de la cuenca.	18L	389 642	8 971 756

Tabla 4

Codificación de la red de puntos de monitoreo de la calidad de agua de la Quebrada El Piuranito

Nº	Cod.	Descripción del punto de monitoreo	Zona	Este (m) WGS84	Norte (m) WGS84
1	QEpiu1	Quebrada El Piuranito en la parte alta de la cuenca.	18L	391 878	8 971 524
2	QEpiu2	Quebrada El Piuranito en la parte media de la cuenca.	18L	390 802	8 972 192
3	QEpiu3	Quebrada El Piuranito en la parte baja de la cuenca.	18L	390 118	8 972 580

Elección de los parámetros a evaluar. Se seleccionaron 8 indicadores y/o parametros a evaluar (Tabla 5)

Tabla 5

Parámetros a evaluar para determinar el Índice de la Calidad Ambiental de las aguas de las Quebradas El Águila y El Piuranito

Indicadores y/o Parámetros	Descripción	Métodos de evaluación
Físico – químico de campo	pH, Temperatura (T°), Conductividad, Oxígeno disuelto (OD), DBO ₅ .	Multiparámetro (in situ) Para DBO ₅ : Según Apha (1998), citado por Poma (2018)
Metales pesados	Cadmio, Plomo, Zinc.	EAA VARIAN ALEMANIA
Microbiológico	<i>Escherichia coli</i> .	Según Apha (1998), citado por POMA (2018)

Medición de las condiciones hidrográficas

Método del flotador

Medición del caudal. La medición del caudal se realizó por el método del flotador determinando la velocidad (v) y la sección transversal (A) (ANA, 2016).

Medición de la velocidad (v)

Seleccionar un tramo homogéneo.

Se estima una longitud apropiada que representará el espacio recorrido por el flotador que oscila entre 30 m a 100 m según el caudal y tamaño del recurso.

Contar con flotador visible.



Se inicia la operación lanzando el flotador al inicio del tramo seleccionado.

Estimación del tiempo utilizado por el flotador en completar el espacio seleccionado.

Realizar varias mediciones para descartar los valores errados que permitirá obtener un valor constante.

Unidad de medida más representativa en m/s

Medición de la sección transversal: A

Extender una cuerda entre ambas orillas para medir la longitud.

Medir las profundidades a lo largo del cauce tomando como referencia la cuerda.

Estimar el área de la sección transversal.

Medición del caudal: $Q = m/s$

El cálculo del caudal se realiza al multiplicar el área de la sección transversal (A) por la velocidad obtenida (v).

$$Q = v \times A \quad (1)$$

Donde:

v: Velocidad determinada

A: Área de la sección transversal

Método volumétrico

Medición del tiempo: T

Se requiere un recipiente graduado para colectar el agua que permitirá determinar el flujo.

Un cronómetro.

Se estima el tiempo que demora el llenado de un determinado volumen de agua.

Medición del volumen: V

Conocer el volumen del recipiente

Medición del caudal: $Q = m^3/s$

El caudal resulta de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en colectar dicho volumen.

$$Q = V/T \quad (2)$$

Donde:

Q: Caudal m^3/s

V: Volumen en m^3

T: Tiempo en segundos

Toma de muestra

Antes de iniciar el muestreo, se debe estar correctamente vestido: guantes, mascarillas, botas.

Ubicarse en un punto medio de la corriente principal, donde la corriente sea homogénea, evitando aguas estancadas poco profundas.

Medir los parámetros de campo directamente en la quebrada o tomando un volumen adecuado de agua en un balde limpio y evitar hacer remoción del sedimento.

Coger un recipiente, retirar la tapa y contratapa sin tocar la superficie interna del frasco.

Antes de colectar las muestras, los frascos se deben enjuagar como mínimo dos veces, a excepción de los frascos para análisis de los parámetros orgánicos o microbiológicos.

Coger la botella por debajo del cuello, sumergirla en dirección opuesta al flujo de agua.

Para muestras microbiológicas dejar un espacio del 10% del volumen del recipiente para asegurar un adecuado suministro de oxígeno para las bacterias (ANA, 2016).

Medición de los parámetros de campo

Para la medición de los parámetros de campo (pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto) se usó un Multiparámetro.

Tomar la muestra de agua con un recipiente y medir in situ.

Ante cada medición se debe limpiar el equipo, a fin de evitar posibles contaminaciones o datos erróneos.

Anotar en el cuaderno de apuntes los datos obtenidos.

Etapas de laboratorio

Se realizó el análisis de las muestras recolectadas para determinar los parámetros fisicoquímicos (DBO_5) y microbiológico (*Escherichia coli*).

Análisis del parámetro fisicoquímico (DBO_5).

Según Apha (1998), citado por POMA (2018) menciona que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) es la medida del oxígeno requerida para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia.

Para realizar la medición de la demanda bioquímica de oxígeno se llenó con muestras de agua hasta rebosar en frascos oscuros de sporade de 600 mL luego se incubó por cinco días, se utilizó el oxímetro de membrana HANNA modelo HI 9146, antes de incubar la muestra de agua se midió OD inicial (ODi), y posteriormente a una incubación a temperatura ambiente por cinco días se midió el OD final (ODf) para obtener el DBO_5 expresado en mg/L para el resultado de la demanda bioquímica de oxígeno se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{DBO}_5(\text{mg/L}) = (\text{OD}_{\text{inicial}} - \text{OD}_{\text{final}}) \quad (3)$$

Análisis del parámetro microbiológico

(*Escherichia coli*). Según Apha (1998), citado por POMA (2018) menciona que para determinar los coliformes fecales se realiza con la técnica del número más probable (NMP) con serie de tres tubos y en tres Etapas presuntiva: se realiza tres diluciones (10-1, 10-2 y 10-3) a partir de la muestra de agua, cada dilución con una serie de tres tubos obteniendo en total de 27 tubos conteniendo caldo *E. coli*, y dentro de cada tubo se introduce un tubito de Durham invertido para la captura gas.

Cada serie de caldo *E. coli*. Recibió 1mL de alícuota de respectiva dilución, se incubaron a una

temperatura de 37°C por un promedio de 24 a 48 horas. etapas.

Etapa de confirmación: en esta etapa se toma las muestras que salieron positivos en la etapa anterior, se toma una avanzada como inóculo y se siembran en tubos que contienen 9 ml de caldo *E. coli* presentados también tubitos Durham para la verificación nuevamente de la producción de gas, luego se lleva a incubar a una temperatura de 44.5 °C por un periodo de 24 a 48 horas.

Para determinar el índice del número más probable por 100 ml aplicando la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{NMP}}{100 \text{ ml}} = \frac{\text{índice NMP} \times \text{dilución intermedia}}{100} \quad (4)$$

Análisis de los metales pesados. El método para la identificación de estos metales pesados se dio por lectura directa con ayuda del espectrofotómetro de absorción atómica, según la metodología EAA VARIAN ALEMANIA, que utiliza el Laboratorio de Suelos.

La determinación estos metales pesados, se realizaron en el laboratorio de análisis de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, usando el equipo espectrofotómetro de absorción atómica por llama.

Etapas de gabinete

Determinación de los parámetros morfométricos. La metodología en esta parte del trabajo se basó fundamentalmente en mediciones y cálculos de variables y parámetros morfométricos de las microcuencas que contienen a las quebradas El Águila y El Piuranito.

Tabla 1

Parámetros morfométricos medidos y calculados para las microcuencas de las quebradas El Águila y El Piuranito

Variable	Parámetros	Unidad	Ecuación
Escala de la microcuenca	Área	Km ²	-
	Perímetro de la cuenca	Km	-
	Ancho de la cuenca	m	-
	Longitud de la cuenca	m	-
Gradiente y forma del relieve de la microcuenca	Altitud media	m.s.n.m	-
	Altitud más frecuencia	m.s.n.m	-
	Altitud de frecuencia media (1/2)	m.s.n.m	$A_p = \frac{(cota\ superior\ cuenca + cota\ inferior\ cuenca)}{2}$
	Pendiente del cauce principal	m.s.n.m	$P = \left(\frac{cota\ superior\ cauce - cota\ inferior\ cuenca}{10000 \cdot Longitud\ cauce\ principal} \right)$
	Pendiente cuenca	%	$P = \left(\frac{cota\ superior\ cuenca - cota\ inferior\ cuenca}{10000 \cdot Longitud\ cauce} \right)$
	Velocidad de flujo	Unid.	Kc
Curva hipsométrica	-	Construcción gráfica con los coeficientes de altura relativa (Chr) y área relativa (Car), respectivamente.	
Forma de a microcuenca	Factor de forma cuenca	Unid	$R_f = \frac{A}{L^2}$
	Coefficiente de compacidad	Unid.	$K = 0.28 * \frac{P}{A^{0.5}}$
Rectángulo equivalente	Lado mayor	Unid.	$L = \frac{K\sqrt{A}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{k}\right)^2} \right)$

Estándares nacionales de calidad ambiental. Para la determinación del ICA se requiere del ECAS, es por ello que se selecciona la Categoría 1: Poblacional y recreacional para la parte alta:

Subcategoría A: Aguas superficiales Destinadas a la Producción de Agua Potable.

A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Tabla 7

Parámetros para aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FISICOS – QUÍMICOS				
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.5	5.5 – 9.0	5.5 – 9.0
Temperatura	°C	Δ3	Δ3	Δ3
Conductividad	(μS/cm)	1 500	1 600	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
INORGÁNICOS				



Cadmio	mg/L	0.003	0.005	0.01
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.05
Zinc	mg/L	3	5	5
MICROBIOLÓGICOS				
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**

Para la determinación del ICA se requiere del ECAS, es por ello que se selecciona la Categoría 3:

Riego de vegetales y bebida de animales para la parte media y baja:
Subcategoría D1: Riego de vegetales.

Tabla 8
Parámetros para aguas destinadas a riego de vegetales

Parámetros	Unidad de medida	D1	D2
		Aguas destinadas para riego de vegetales	Aguas destinadas para bebidas de animales
FISICOS – QUÍMICOS			
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.4
Temperatura	°C	Δ3	Δ3
Conductividad	(μS/cm)	2 500	5 000
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	15
INORGÁNICOS			
Cadmio	mg/L	0.01	0.05
Plomo	mg/L	0.05	0.05
Zinc	mg/L	2	24
MICROBIOLÓGICOS			
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**

Fuente: D.S. N° 004 – 2017 – MINAM

Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE). Para la determinación del ICA de un punto de monitoreo, en un curso de agua, en un río o cuenca; es necesario contar con la data suficiente, información que proviene de las actividades que realiza la ANA en el marco del control y la vigilancia de los recursos hídricos.

Se recomienda una data mínima necesaria de al menos cuatro (04) parámetros (variables) a evaluar, analizadas y muestreadas mínimo en cuatro (04) monitoreos (tiempos). Sin embargo, no se especifica un número máximo de parámetros, aplicándose desde un punto de monitoreo a más puntos que corresponden a una región de un cuerpo de agua hasta una cuenca completa.

Para la determinación del índice de calidad de agua se aplicó la fórmula canadiense, que comprende tres factores (alcance, frecuencia y amplitud), lo que resulta del cálculo matemático un valor único (entre 0 y 100), que va a representar y describir el estado de la calidad del agua de un punto de monitoreo, un curso de agua, un río o cuenca.

La definición y determinación de estos tres factores se describen a continuación:

1° F1 – Alcance

Representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa, Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA- Agua) vigente, respecto al total de parámetros a evaluar.

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}} \quad (5)$$



2° F2 – Frecuencia
Representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA- Agua) respecto al total

de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 4 monitoreos).

$$F2 = \frac{\text{Número de parámetros que NO cumplen el ECA Agua de los Datos Evaluados}}{\text{Número Total de Datos Evaluados}} \quad (6)$$

Donde:
Datos = Resultados de los monitoreos
3° F3 – Amplitud

Es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F3 = \left(\frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes}+1} \right) * 100 \quad (7)$$

En donde, la Suma Normalizada de Excedentes (nse):

$$\text{nse} = \text{Suma Normalizada de Excedentes} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de Datos}} \quad (8)$$

EXCEDENTE, se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA- Agua.

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA- Agua, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente}_i = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}} \right) - 1 \quad (9)$$

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA- Agua, incumpliendo la condición señalada en el

mismo, como ejemplo: el Oxígeno Disuelto (> 4), pH (>6.5, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente}_i = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}} \right) - 1 \quad (10)$$

Una vez obtenido los valores de los factores (F1, F2, y F3) se procede a realizar el Cálculo del Índice de Calidad de Agua: que es la diferencia de un rango de 0 a 100, siendo 100 el valor que representa un ICA de excelente calidad y 0 el valor que

representa un ICA de mala calidad, la diferencia se realiza con el valor que viene dado por la raíz cuadrada del promedio de la suma de cuadrados de los tres (03) factores, F1, F2 y F3, se expresa en la siguiente ecuación:

$$CCME_{WQI} = 100 - \left(\sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \right) \quad (11)$$

Valor para el índice que se presenta como un número adimensional comprendido entre 1- 100, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que me expresan y

califican el estado de la calidad del agua, como Mala, Regular, Favorable, Buena y Excelente (Como se muestra en el Tabla 9).

Tabla 9
Calificación de los ICA

ICA	95 - 100	80 - 94	65 - 79	45 - 64	0 - 44
Calificación	Excelente	Buena	Regular	Malo	Muy Mala

Fuente: ANA (2012)

Tabla 10
Interpretación de la Calificación ICA-PE

CCME_WQI	Calificación	Interpretación
95 - 100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
80 - 94	Buena	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
60 - 79	Regular	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
40 - 59	Malo	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Mucho de los usos necesitan tratamiento.
0 - 39	Muy Mala	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Fuente: ANA, 2012

Comportamiento del índice de calidad del agua en función del tiempo y altitud

En función del tiempo. Para apreciar el comportamiento del índice de calidad de agua de ambas quebradas, se graficó el periodo de medición, dado en los meses: Febrero, marzo, abril Para el eje “Y” el índice de calidad de agua promedio obtenido para cada medición. Asimismo, se determinó el coeficiente de determinación (R2)

$$R^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (\hat{Y}_t - \bar{Y})^2}{\sum_{n=1}^N (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (12)$$

Donde:

\hat{Y}_t : Valor de la recta ajustada

\bar{Y} : Promedio de datos del ICA-PE (%)

Y_t : Valor verdadero del ICA-PE (%) obtenidos en los meses

En función de la altitud. Para apreciar el comportamiento del índice de calidad de agua de ambas quebradas, se graficó las altitudes: alta, media y baja, en el eje “X” y el índice de calidad

de agua promedio en el eje “Y”. Asimismo, se determinó la desviación estándar (S) para cada altitud según las mediciones:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (13)$$

Donde:

x_i : Valor de los datos del ICA (%) obtenidos en el tiempo (mes)

\bar{x} : Promedio de datos del ICA-PE (%)

RESULTADOS

Parámetro morfométrico de la microcuenca de la quebrada El Águila

La cuenca hidrográfica tiene un área total de 0.8 km2 por lo que es considerada como una cuenca pequeña, tiene la capacidad de coleccionar agua, asimismo, cuenta con las dimensiones: el ancho con 0.78 km y largo 2.56 km. La microcuenca tiene una forma alargada. Las pendientes de la cuenca y del cauce principal (16.32% y 9.07%), el cual



indica que es fuertemente inclinado, estos datos fueron determinados en función de sus elevaciones y desniveles respectivamente.

Tabla 11

Parámetros morfométricos de la microcuenca de la quebrada El Águila

Descripción	Unidad	Valor
De la Superficie		
Área	Km ²	0.79
Área	Ha	79.59
Perímetro de la cuenca	Ha	6.53
Ancho de la cuenca	Km	0.78
Factor de forma cuenca/elongación	Unidad	0.305
Coefficiente de compacidad	Unidad	2.049
Altitud		
Altitud media	m.s.n.m	832.35
Pendiente		
Pendiente promedio de la cuenca	%	16.32
De la Red Hídrica		
Longitud del cauce principal	Km	2.67
Longitud total de la red hidrográfica	Km	3.83
Velocidad de flujo	m/s	2.05
Pendiente del cauce	%	9.07
Densidad de drenaje	Km/Km ²	4.81
Tiempo de concentración (Témez)	Min	25
Orden de los cauces		3.00
Densidad de corriente	Km/Km ²	7.51

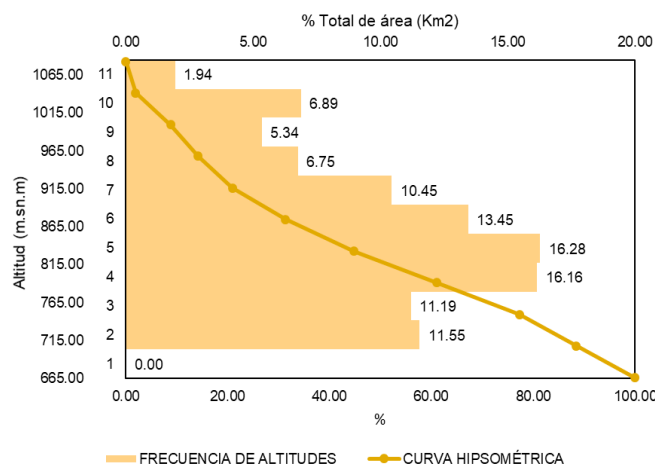
Curva hipsométrica de la microcuenca de la quebrada El Águila

Las áreas parciales constan de 10 intervalos con una separación de 41.7 m cada una, siendo la más representativa la de 0.11 km² en la parte central de la cuenca.

A partir de la curva hipsométrica (Figura 1) se obtuvo la elevación media de la microcuenca de la quebrada El Águila, dando como resultado 874.50 m.s.n.m. donde se encuentra el 50% del área acumulada, catalogándose esta como una curva que representa una quebrada en etapa de media, es decir en etapa madura.

Figura 1

Curva hipsométrica de la microcuenca de la quebrada El Águila



Parámetro morfométrico de la microcuenca de la quebrada El Piuranito

La cuenca hidrográfica tiene un área total de 0.52 km² por lo que es considerada como una cuenca pequeña, tiene la capacidad de coleccionar agua, asimismo, cuenta con las dimensiones: el ancho con 3.16 km y largo 2.29 km.

La microcuenca tiene una forma alargada. Las pendientes de la cuenca y del cauce principal (17.27% y 13.02%), esto indica que es fuertemente inclinada, estos datos fueron determinados en función de sus elevaciones y desniveles respectivamente.

Tabla 2

Parámetros morfométricos de la microcuenca de la quebrada El Piuranito

Descripción	Unidad	Valor
De la Superficie		
Área	Km ²	0.52
Área	Ha	52.44
Perímetro de la cuenca	Ha	5.29
Ancho de la cuenca	Km	0.49
Factor de forma cuenca/elongación	Unidad	0.214
Coeficiente de compacidad	Unidad	2.045
Altitud		
Altitud media	m.s.n.m	797.04
Pendiente		
Pendiente promedio de la cuenca	%	17.27
De la Red Hídrica		
Longitud del cauce principal	Km	2.30
Longitud total de la red hidrográfica	Km	2.79
Velocidad de flujo	m/s	2.05
Pendiente del cauce	%	13.02
Densidad de drenaje	Km/Km ²	5.32
Número de corrientes	Unidad	5.00
Tiempo de concentración (Témez)	Min	21
Orden de los cauces		3.00
Densidad de corriente	Km/Km ²	9.53

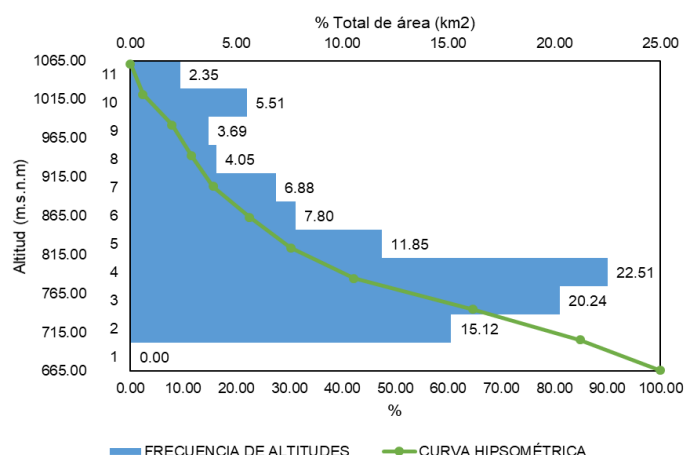
Curva hipsométrica de la microcuenca de la quebrada El Piuranito

Las áreas parciales constan de 10 intervalos con una separación de 39.5 m cada una, siendo la más representativa la de 0.04 km² en la parte central de la cuenca.

A partir de la curva hipsométrica (Figura 2) se obtuvo la elevación media de la microcuenca de la quebrada El Piuranito, dando como resultado 863.50 m.s.n.m. donde se encuentra el 50% del área acumulada, catalogándose esta como una curva que representa una quebrada en etapa de media, es decir en etapa madura.

Figura 2

Curva hipsométrica de la microcuenca de la quebrada El Piuranito



Parámetros fisicoquímicos de las aguas de la Quebrada El Águila

Los valores de los parámetros fisicoquímicos determinados muestran variaciones de acuerdo a

las etapas muestreadas en temporada húmeda de los meses: febrero, marzo y abril; reflejándose en los tres estratos (alto, medio y bajo).

Tabla 13

Valores promedios de los parámetros fisicoquímicos de la Quebrada El Águila

Parámetro fisicoquímico	Unidad de medida	Quebrada El Águila					
		Parte Alta		Parte media		Parte Baja	
		Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)
Caudal *	L/s	126	12.32%	222	9.47%	135	7.40%
Temperatura	°C	20.686	4.04%	22.05	7.95%	22.318	6.99%
pH	-	7.2556	1.33%	8.071	7.14%	7.626	5.24%
OD	mg/L	7.7596	5.76%	4.6018	5.64%	2.6358	44.54%
Conductividad	µS/cm	32.374	21.35%	186.204	44.84%	203.6	25.19%
DBO ₅	mg/L	2.0876	23.51%	311.8898	10.10%	384.3578	15.15%
Plomo	mg/L	0.408	56.16%	0.4125	46.07%	0.3544	53.47%
Zinc	mg/L	0.0776	49.42%	0.117	50.52%	0.0886	55.92%
Cadmio	mg/L	0.0182	117.61%	0.0184	98.25%	0.0172	117.32%

*Información del monitoreo pasado brindada por la ANA (esto se debe a la temporada húmeda)

En la Tabla 13 se muestran los resultados de los parámetros evaluados por mes y punto de muestreo de la Quebrada El Águila, según las fechas establecidas, estos resultados fueron comparados por 02 ECAS A1 (parte alta) y D1 (parte media y baja), obteniendo que los caudales más altos se registraron la parte media de la cuenca durante el periodo de medición. Asimismo, se tiene que la temperatura en el mes de abril en tan solo la quinta medición se encuentra dentro del ECAS A1 y D1;

el pH y conductividad eléctrica se encuentran dentro del ECAS, los valores de oxígeno disuelto en la parte bajan no se encuentran dentro del ECAS, los valores de demanda bioquímica de oxígeno en la parte media y baja superan los ECAS. Respecto a la concentración de metales como el plomo y cadmio, se obtienen valores que superan a las cantidades permitidas por el ECAS (A1 y D1) asimismo, se aprecia que dichos valores se incrementan en la primera medición en la parte alta

con 0.63 mg/L (plomo) y en la segunda medición en la parte alta con 0.043 mg/L (cadmio); en cuanto a los datos obtenidos en la medición de zinc se encuentra dentro de lo establecido.

Parámetros fisicoquímicos de las aguas de la Quebrada El Piuranito

Los valores de los parámetros fisicoquímicos determinados muestran variaciones de acuerdo a las etapas muestreadas en temporada húmeda de los meses: febrero, marzo y abril; reflejándose en los tres estratos (alto, medio y bajo).

Tabla 3

Valores promedios de los parámetros fisicoquímicos de la Quebrada El Piuranito

Parámetro fisicoquímico	Unidad de medida	Quebrada El Piuranito					
		Parte Alta		Parte media		Parte Baja	
		Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)	Promedio	CV (%)
Caudal	L/s	156	29.28%	134	12.49%	131	5.66%
Temperatura	°C	21.32	2.92%	22.038	6.91%	23.63	8.88%
pH	-	7.1694	2.97%	7.8632	2.25%	7.8188	3.47%
OD	mg/L	7.496	3.76%	6.4474	5.64%	3.723	7.89%
Conductividad	µS/cm	31.7124	8.46%	124.306	15.82%	290.23	18.92%
DBO ₅	mg/L	1.762	34.85%	284.7354	28.06%	306.005	27.37%
Plomo	mg/L	0.3724	43.18%	0.412	54.25%	0.3382	64.46%
Zinc	mg/L	0.0772	51.70%	0.1012	65.79%	0.1516	67.75%
Cadmio	mg/L	0.0228	122.12%	0.0884	133.86%	0.021	122.98%

En la Tabla 14 se muestran los resultados de los parámetros evaluados por mes y punto de muestreo de la Quebrada El Piuranito, según las fechas establecidas, estos resultados fueron comparados por 02 ECAS A1 (parte alta) y D1 (parte media y baja), obteniendo que los caudales más altos se registraron la parte media de la cuenca durante el periodo de medición. Asimismo, se tiene que la temperatura en el mes de marzo tan solo en la tercera y cuarta medición se encuentra dentro del ECAS A 1 y D1; el pH y conductividad eléctrica se encuentran dentro del ECAS, los valores de oxígeno disuelto en la parte bajan no se encuentran dentro del ECAS, los valores de demanda bioquímica de oxígeno en la parte media y baja superan los ECAS.

Respecto a la concentración de metales como el plomo y cadmio, se obtienen valores que superan a las cantidades permitidas por el ECAS (A1 y D1) asimismo, se aprecia que dichos valores se

incrementan en la primera medición en la parte baja con 0.65 mg/L (plomo) y en la quinta medición en la parte media con 0.288 mg/L (cadmio); en cuanto a los datos obtenidos en la medición de zinc se encuentra dentro de lo establecido.

Parámetros microbiológicos de las aguas de las quebradas El Águila y El Piuranito

Los valores de los parámetros microbiológicos determinados muestran variaciones de acuerdo a las etapas muestreadas en temporada húmeda de los meses: febrero, marzo y abril; reflejándose en los tres estratos (alto, medio y bajo). En la Tabla 15 nos muestra la concentración de Escherichia coli de las muestras de agua de la Quebrada El Águila y El Piuranito tomadas por mes y punto de muestreo, obteniendo valores que supera el ECA de la Subcategoría A1 en la parte media y baja > 1100 NMP/100 ml y un mínimo en la parte alta con 0 NMP/100 ml.

Tabla 4

Valores promedios de los parámetros microbiológicos de la Quebrada El Águila

Quebrada El Águila				
Parámetro microbiológico	Unidad de Medida	Parte Alta	Parte media	Parte Baja
		Promedio	Promedio	Promedio
E coli	NMP/100 ml	0	> 1100	> 1100

Quebrada El Piranito				
Parámetro microbiológico	Unidad de Medida	Parte Alta	Parte media	Parte Baja
		Promedio	Promedio	Promedio
E coli	NMP/100 ml	0	> 1100	> 1100

Índice de calidad del agua de la quebrada El Águila

El índice de calidad del agua de la quebrada El Águila arrojó los siguientes resultados: en la primera medición realizada en el mes de febrero se obtuvo un ICA-PE en la parte alta, media y baja una clasificación de calidad “Malo”. En la segunda medición realizada en el mes de febrero se obtuvo un ICA-PE en la parte alta una clasificación de calidad “Regular” y en la parte media y baja una

clasificación de calidad “Malo”. En la tercera medición realizada en el mes de marzo se obtuvo un ICA-PE en la parte alta, media y baja una clasificación de calidad “Malo”. En la cuarta medición realizada en el mes de marzo se obtuvo un ICA-PE en la parte alta, media y baja una clasificación de calidad “Malo. En la quinta medición realizada en el mes de marzo se obtuvo un ICA-PE en la parte alta, media y baja una clasificación de calidad “Malo”.

Tabla 5

Índice de calidad del agua de la Quebrada El Águila por periodo de monitoreo

Primera medición – Mes de febrero				
N°	Punto	Cuerpo de Agua	Resultados ICA – PE	
			Puntaje	Calificación
1	QEagu1	Quebrada El Águila – Parte alta	48.49	Malo
2	QEagu2	Quebrada El Águila – Parte media	56.23	Malo
3	QEagu3	Quebrada El Águila – Parte baja	54.45	Malo

Segunda medición – Mes de febrero				
N°	Punto	Cuerpo de Agua	Resultados ICA – PE	
			Puntaje	Calificación
1	QEagu1	Quebrada El Águila – Parte alta	65.35	Regular
2	QEagu2	Quebrada El Águila – Parte media	58.43	Malo
3	QEagu3	Quebrada El Águila – Parte baja	55.97	Malo

Tercera medición – Mes de marzo				
N°	Punto	Cuerpo de Agua	Resultados ICA – PE	
			Puntaje	Calificación
1	QEagu1	Quebrada El Águila – Parte alta	52.41	Malo
2	QEagu2	Quebrada El Águila – Parte media	56.53	Malo
3	QEagu3	Quebrada El Águila – Parte baja	54.05	Malo

Cuarta medición – Mes de marzo				
N°	Punto	Cuerpo de Agua	Resultados ICA – PE	
			Puntaje	Calificación
1	QEagu1	Quebrada El Águila – Parte alta	56.37	Malo
2	QEagu2	Quebrada El Águila – Parte media	56.04	Malo
3	QEagu3	Quebrada El Águila – Parte baja	54.30	Malo

Quinta medición – Mes de abril				
--------------------------------	--	--	--	--



N°	Punto	Cuerpo de Agua	Resultados ICA – PE	
			Puntaje	Calificación
1	QEagu1	Quebrada El Águila – Parte alta	55.99	Malo
2	QEagu2	Quebrada El Águila – Parte media	56.67	Malo
3	QEagu3	Quebrada El Águila – Parte baja	54.80	Malo

En la Figura 3, los valores de los índices de calidad de agua obtenidos en los 5 periodos de monitoreo ya mencionados de la quebrada El Águila presentan el siguiente comportamiento: en la parte alta, media y baja; siendo los valores más altos

obtenidos del ICA-PE en la primera medición del mes de febrero, obedeciendo a un polinomio de grado 3 con un $R^2=0.6427$, $R^2=0.8965$ y $R^2=0.6754$ respectivamente.

Figura 3

Índice de calidad del agua de la Quebrada El Águila según el periodo de monitoreo

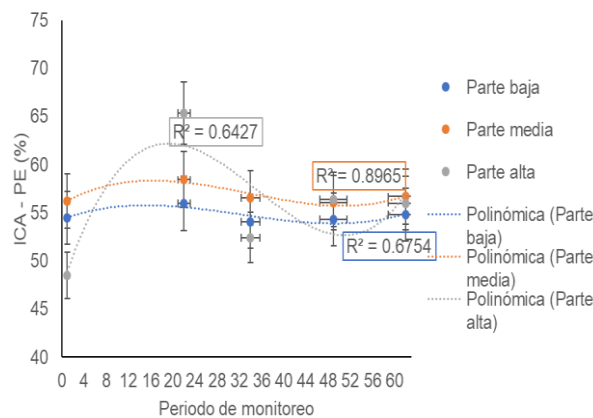
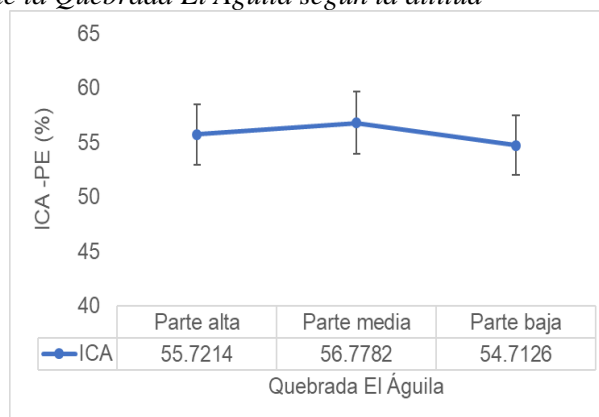


Figura 4

Índice de calidad del agua de la Quebrada El Águila según la altitud



Índice de calidad del agua de la quebrada El Piuranito

El índice de calidad del agua de la quebrada El Piuranito arrojó los siguientes resultados: en la primera medición realizada en el mes de febrero se obtuvo un ICA-PE en la parte alta, media y baja

una clasificación de calidad “Malo”. En la segunda medición realizada en el mes de febrero se obtuvo un ICA-PE en la parte alta y media una clasificación de calidad “Malo” y en la parte baja una clasificación de calidad “Regular”. En la tercera medición realizada en el mes de marzo se

obtuvo un ICA-PE en la parte alta, media y baja una clasificación de calidad “Malo”. En la cuarta medición realizada en el mes de marzo se obtuvo un ICA-PE en la parte alta, media y baja una clasificación de calidad “Malo”. En la quinta

medición realizada en el mes de marzo se obtuvo un ICA-PE en la parte alta, media y baja una clasificación de calidad “Malo”.

Tabla 6

Índice de calidad del agua de la Quebrada El Piuranito por periodo de monitoreo

Primera medición – Mes de febrero				
N°	Punto	Cuerpo de Agua	Resultados ICA – PE	
			Puntaje	Calificación
1	QEpiu1	Quebrada El Piuranito – Parte alta	48.87	Malo
2	QEpiu2	Quebrada El Piuranito – Parte media	57.51	Malo
3	QEpiu3	Quebrada El Piuranito – Parte baja	56.90	Malo
Segunda medición – Mes de febrero				
N°	Punto	Cuerpo de Agua	Resultados ICA – PE	
			Puntaje	Calificación
1	QEpiu1	Quebrada El Piuranito – Parte alta	55.12	Malo
2	QEpiu2	Quebrada El Piuranito – Parte media	57.88	Malo
3	QEpiu3	Quebrada El Piuranito – Parte baja	59.55	Regular
Tercera medición – Mes de marzo				
N°	Punto	Cuerpo de Agua	Resultados ICA – PE	
			Puntaje	Calificación
1	QEpiu1	Quebrada El Piuranito – Parte alta	50.94	Malo
2	QEpiu2	Quebrada El Piuranito – Parte media	55.96	Malo
3	QEpiu3	Quebrada El Piuranito – Parte baja	57.02	Malo
Cuarta medición – Mes de marzo				
N°	Punto	Cuerpo de Agua	Resultados ICA – PE	
			Puntaje	Calificación
1	QEpiu1	Quebrada El Piuranito – Parte alta	55.39	Malo
2	QEpiu2	Quebrada El Piuranito – Parte media	55.71	Malo
3	QEpiu3	Quebrada El Piuranito – Parte baja	55.78	Malo
Quinta medición – Mes de abril				
N°	Punto	Cuerpo de Agua	Resultados ICA – PE	
			Puntaje	Calificación
1	QEpiu1	Quebrada El Piuranito – Parte alta	54.08	Malo
2	QEpiu2	Quebrada El Piuranito – Parte media	50.70	Malo
3	QEpiu3	Quebrada El Piuranito – Parte baja	55.13	Malo

En la Figura 5, los valores de los índices de calidad de agua obtenidos en los 5 periodos de monitoreo ya mencionados de la quebrada El Piuranito presentan el siguiente comportamiento: en la parte alta, media y baja los valores más altos obtenidos del ICA-PE son de la segunda medición del mes de febrero, obedeciendo a un polinomio de grado 3

con un $R^2=0.5749$, $R^2=0.9429$ y $R^2=0.9433$ respectivamente.

Figura 5. Índice de calidad del agua de la Quebrada El Piuranito según el periodo de monitoreo

En la Figura 6, el índice de calidad del agua de la quebrada El Piuranito obedece a un comportamiento inverso según el ECAS designado; en comparación con el punto medio y

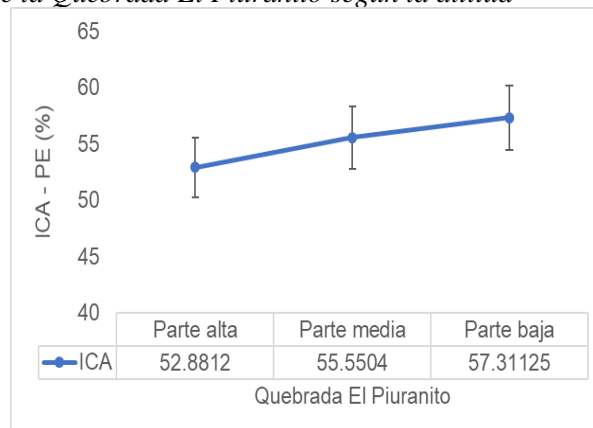


bajo es notorio el incremento de la calidad ya que, en la parte media existe mayor influencia de vertederos de desagüe de las viviendas situadas al borde e incluso en la faja marginal; las varianzas

que presenta entre sus datos son: 2.85, 2.87 y 1.69 respectivamente, viendo una mayor variación en la parte media de la quebrada.

Figura 6

Índice de calidad del agua de la Quebrada El Piuranito según la altitud



DISCUSIÓN

Quesada y Jiménez (2021), indican en su estudio que el área de la microcuenca es uno de los criterios que determina la magnitud del caudal en condiciones normales. Los caudales promedios, mínimos y máximos instantáneos crecen a medida que crece el área de la microcuenca; en la presente investigación las Quebradas El Águila y El Piuranito arrojan un área de 0.80 km² y 0.51 km² respectivamente, categorizándose como microcuenca o cuenca pequeña. Según la Tabla la microcuenca El Águila presenta en la parte alta, media y baja un caudal promedio que va desde los 126 L/s – 222 L/s y la Quebrada El Piuranito un caudal promedio que va desde los 131 L/s a 156 L/s, teniendo una relación directa con el área de las microcuencas, el caudal aumenta a mayor incidencia del área de una microcuenca.

La cantidad de oxígeno disuelto es influenciado por muchos factores antrópicos, como el aumento de materia orgánica, lo que provoca un descenso, pero

también la temperatura puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura y según Núñez (2019) la variación de temperatura que oscila entre los 15°C y 20°C facilita el desarrollo de los microorganismos existentes; en la presente investigación podemos relacionar de forma significativa lo planteado por el autor, en la parte alta de la Quebrada El Águila la temperatura del agua promedio va desde los 20.6°C, 22.05°C y 22.3°C, obteniendo un nivel de OD de 7.76 mg/L y a medida que desciende la altitud en la parte media y baja, la temperatura va aumentando y OD disminuyendo hasta 2.63 mg/L visualizando en el punto más bajo, asimismo, en la Quebrada El Piuranito la temperatura promedio del agua obtenido oscila entre los 21.32°C, 22°C y 23.6°C a medida que descendemos altitudinalmente, al igual que el OD teniendo el valor de 3.7 mg/L en la parte baja, esto nos quiere decir que la influencia de la radiación solar transfiere a las moléculas de agua haciendo que

umente el contenido de calor y elevando la temperatura, a este proceso se le suma que la parte alta de la microcuenca existe la presencia de árboles y dicha radiación es baja a comparación de la parte media y baja, que son zonas despejadas y con influencia de viviendas vertiendo contenido de materia orgánica ocasionando mayor actividad química provocando el descenso del OD.

Las Quebradas El Águila y El Piuranito está dentro de la Categoría 1-A1 (Aguas superficiales que pueden ser potabilizadas con desinfección) que es aplicado en la parte alta de la microcuenca y Categoría 3-D1 (Agua para riego vegetales) que es aplicable en la parte media y baja. Según MINAN (2017), establece el nivel de concentración de parámetros físicos-químicos y biológicos presentes en el agua. En los análisis de las muestras de agua, los parámetros: Temperatura, pH, conductividad eléctrica y zinc cumplen con lo establecido en los ECAs agua; sin embargo, los valores de concentración de Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Cadmio y de Plomo exceden a lo establecido en los ECAs para dicha categoría.

Los resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA-PE), pueden variar de acuerdo a la temporada en que se realice los muestreos, de acuerdo al trabajo de investigación Sucapuca (2022) en su tesis "Evaluación de la calidad del agua del río Crucero, aplicando el ICAPE y CCME-WQI en proximidades de la zona urbana del distrito de Crucero, Carabaya, Puno (Perú)", donde se tomaron muestras en cinco puntos de monitoreo en dos épocas del año: estiaje y avenida, y se analizaron 14 parámetros (DBO, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, manganeso,

mercurio, plomo, zinc y coliformes termotolerantes), de su evaluación se obtuvo una "excelente" calidad del agua en épocas de estiaje y una calidad "mala" en época de estiaje y avenida; cabe resaltar que el punto 1 de muestreo se ubica a 4130 msnm y el punto 5 a 4125 msnm, lo que indica que las muestras fueron tomadas desde la parte más alta a la más baja obteniendo calidades de agua de bueno a malo; en la investigación propuesta de las Quebradas El Águila y El Piuranito se aplicó el ICA-PE para la evaluación de 09 parámetros (temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DBO5, cadmio, plomo, zinc y coliformes termotolerantes), en cinco puntos de muestreo en una época de avenida, ambos cuerpos de agua presentan una calidad "mala" debido a la influencia de las precipitaciones y las actividades antrópicas que se desarrollan a lo largo del curso del agua.

En la presente practica pre profesional se usó la metodología ICA-PE, mostrando los resultados mencionados, estos resultados pudiesen haber variado en el caso de haber usado otro índice de calidad de agua, Rodríguez (2019) en su tesis EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA CHANCAY-LAMBAYEQUE (PERÚ) EN TÉRMINOS DE ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA ICA-PE Y NSF-WQI, muestra una comparación entre dos índices, el índice ICA-PE y el índice NSF-WQI, en sus resultados obtenidos durante los años 2013, 2014 y 2016 muestran que cuando se presentan los resultados obtenidos para ríos de la cuenca de ambos índices (ICA-PE y NSF-WQI) el valor del WQI obtenido es inferior al obtenido por la metodología ICA-PE aplicado para ríos, por otro lado, cuando se presentan los resultados obtenidos

para quebradas de ambos índices (ICA-PE y NSF-WQI) se puede inferir que el valor del WQI desciende a medida que pasan los años, mientras que el índice ICA-PE se comporta de manera irregular, alcanzando el menor valor el año 2014, esto puede explicarse porque la metodología ICA-PE aplica como referentes los respectivos Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de cada uno de los parámetros monitoreados (ANA, 2018), mientras que la metodología NSF-WQI utiliza en su metodología una ponderación y únicamente sobre nueve parámetros.

CONCLUSIONES

El índice de calidad ambiental del agua de las quebradas El Águila y El Piuranito indican una calidad “Mala” en la parte alta, media y baja, indicando que: la calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Mucho de los usos necesitan tratamiento. La cuenca de la quebrada El águila y El Piuranito es considerada como microcuenca (área pequeña), de forma oval alargada, presentando una pendiente fuertemente empinada y encontrándose en una etapa media (madura) por lo que trasladan sedimentos.

Los parámetros fisicoquímicos: oxígeno disuelto, DBO5, plomo y cadmio no cumple con el Estándar de Calidad de Agua designado, por lo que se encuentran fuera del valor dado.

Los valores de los parámetros microbiológicos: *Escherichia coli* de las quebradas El Águila y El Piuranito superan los ECAS en la parte media y baja, indicando presencia, mientras que en la parte alta hay ausencia.

El comportamiento del Índice de calidad del agua ICA-PE por periodo de monitoreo de las quebradas El Águila y El Piuranito es significativo, y el comportamiento por altitud obedece a la relación en ambas quebradas: a menor altura, la calidad del agua desciende según el uso establecido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANA. (2010). Aprobar la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino-costeros. Autoridad Nacional del Agua. Perú. 9 p.
- [2] ANA. (2012). Metodología para la determinación del Índice de Calidad del Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú (ICA – PE). Autoridad Nacional del Agua. Perú. 44 p.
- [3] ANA. (2016). Ministerio de Agricultura. Protocolo nacional de monitoreo de la calidad en cuerpos naturales de agua superficiales. Lima. 42 p.
- [4] Ball, R. y Church, R. (1980). Water Quality Indexing and Scoring. Journal of the Environmental Engineering División, American Society of Civil Engineers.
- [5] Bedregal, P., Mendoza, P., Ubillus, M., Montaya, E., Airas, R., Baca, L y Fajardo, W. (2010). Evaluación de las aguas del río Rímac en Lima, Perú, utilizando el Índice de Calidad de Agua (ICA). IPEN, DIGESA. 7 p. <https://repositorio.ipen.gob.pe/bitstream/handle/20.500.13054/623/ICT%202010%20-%20Pag%2013-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [6] Campos, A. (1999). Proceso de ciclo hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. (2a ed.). Dan Luis Potosí.
- [7] Cisterna, P. y Peña, D. (2002). Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25 000 habitantes en la VIII región. Universidad Tecnológica. Fed. Santa María. <https://docplayer.es/20765727-Determinacion-de-la-relaciondqdqo-dbo-5-en-aguas-residuales-de-comunas-con-poblacion->

- menora-25-000-habitantes-en-la-viii-region.html
- [8] Ecofluidos Ingenieros S.A. (2012). Estudio de calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímico en Apurímac y Cusco. FIODM. <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/15.pdf>
- [9] Faustino, J. (2006). Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Enfoques y estrategias actuales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE.
- [10] Flores, H. y Sotil, L. (2016). Determinación de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del contenido de las aguas del Río Mazán – Loreto [Tesis Ing. Químico, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. https://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/4156/Luz_Tesis_Titulo_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [11] Llamas, J. (1993). Hidrología general. Principios y aplicaciones. Servicio editorial de la Universidad del País Vasco.
- [12] Maidment, D. (1992). Handbook of Hydrology. McGraw Hill. New York.
- [13] Martínez, G., Fermín, I., Brito, F., Márquez, A., De La Cruz, R., Rodríguez, G. y Pinto, F. (2013). Calidad de las aguas de Caño Mánamo, Delta del Río Orinoco, Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela. 52(1): 17 – 27.
- [14] MINAGRI. (2018). Informe técnico N° 001-2018-ANA-AAA.H-AT/MEHC. Informe de monitoreo participativo de la calidad del agua superficial de la cuenca del Río Huallaga. Autoridad Nacional del Agua. Tarapoto, Perú. 572 p.
- [15] MINAM. (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establece disposiciones complementarias. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.
- [16] Minaya, R. (2017). Parámetros físicos, químicos, microbiológicos, para determinar la calidad del agua en la Laguna Moronacocho, época de transición creciente-vacante. [Tesis Ing. Gestión ambiental, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana] https://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/4690/Reynaldo_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [17] Monsalve, G. (2000). Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería (2 a. ed.). Alfaomega.
- [18] Núñez, M. (2019). Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cajabamba – Cajamarca. Alternativas para mejorar su tratamiento. [Tesis de doctorado en ciencias, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3526>
- [19] Orellana, J. (2005). Características del agua potable. UTN-FRRO. https://www.fro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf
- [20] Poma, N. (2018). Calidad del agua según el Índice de Oregón del Sistema de Abastecimiento Poblacional proveniente de la Quebrada Etita. [Práctica Pre Profesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva de Perú]. https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/CALIDAD%20DEL%20AGUA%20SEGUN%20EL%20INDICE%20DE%20OREGON%20DEL%20SISTEMA%20DE%20ABASTECIMIENTO%20POBLACIONAL%20PROVENIENTE%20DE%20LA%20QUEBRADA%20ETITA.pdf
- [21] Quesada, M. y Jiménez, K. (2020). Morfometría de la microcuenca quebrada El Estero, San Ramón, Alajuela, Costa Rica. Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía. (29), 070.
- [22] Rodríguez, R. (2019). Evaluación de la calidad del agua en la cuenca Chancay – Lambayeque (Perú) en términos de Índices de calidad del agua ICA-PE y NSF-WQI. Universidad Nacional del Callao. <http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/>

- e/20.500.12952/5578/Informe%20final-Rodriguez%20Flores-%20FIARN-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [23] Romero, J. (1999). Calidad de agua. (2 a. ed.). Alfaomega.
- [24] Sánchez, R. y Artieda, J. (2004). Análisis morfométrico de la microcuenca Quebrada Curucuti. Estado de Vargas – Venezuela. Revista Geográfica Venezolana. 47(1), 29 – 55.
- [25] SENAHMI. (2019). Condiciones de tiempo. Servicio nacional de meteorología e hidrología. [En línea]: SENAMHI, (<http://www.senamhi.gob.pe/>, 20 ene. 2019).
- [26] Sias, D. (2014). Evaluación de la calidad del agua mediante índice de Oregon en el sistema de abastecimiento poblacional proveniente de la Quebrada Cocheros. [Práctica Pre Profesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva de Perú]
- [27] Sotil, H. (2017). Análisis de indicadores de contaminación bacteriológica (coliformes totales y termotolerantes) en el lago de Moronaocha. [Tesis para optar el título de Lic. En ecología, Universidad Científica del Perú]
<http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/274/SOTIL-1-Trabajo-An%C3%A1lisis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [28] Sucapuca, R. (2022). Evaluación de la calidad del agua del río Crucero, aplicando el ICA-PE y CCME-WQI en proximidades de la zona urbana del distrito de Crucero, Carabaya, Puno (Perú). [Tesis para obtener el Título de Ingeniero Ambiental, Universidad Peruana Unión].
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/5313>
- [29] Tambo, C. (2015). Propuesta de un Índice de Calidad del Agua como Herramienta de Gestión. [Tesis para optar el título de Ing. Ambiental, Universidad Santo Tomás].
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2582/2015cristiantambo.pdf?sequence=8>
- [30] Villegas, J. (2004). Análisis del conocimiento en relación agua-suelo vegetación para el departamento de Antioquia. Revista EIA. 1794-1237 (1), 73 - 79.
- [31] Villon, M. (2002). Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Agrícola. 2° Edic. Ediciones Villon. Lima, Perú. p. 15 - 64.