

**Universidad Católica de Santa María**

**Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y del Ambiente**

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**



**EVALUACIÓN DEL INDICES DE CALIDAD AMBIENTAL FISICOQUÍMICOS  
DE LA LAGUNA TINQUICOCHA MEDIANTE LA METODOLOGÍA ICA-PE  
EN EL DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO EN EL AÑO 2018-2019**

Tesis presentada por los bachilleres:

**Cacsire Ponce, Ruben Arturo**

**Valencia Córdova, Vanessa Milagros**

Para optar el Título Profesional de

**Ingeniero Ambiental**

**Asesor:**

**Blgo. Arenazas Rodríguez, Armando**

**Jacinto**

**Arequipa – Perú**

**2021**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**INGENIERIA AMBIENTAL**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 12 de Octubre del 2021

**Dictamen: 000819-C-EPIA-2021**

Visto el borrador del expediente 000819, presentado por:

2012248232 - VALENCIA CORDOVA VANESSA MILAGROS

2012601401 - CACSIRE PONCE RUBEN ARTURO

Titulado:

**EVALUACIÓN DE INDICES DE CALIDAD AMBIENTAL FISICOQUÍMICOS DE LA LAGUNA  
TINQUICOCHA MEDIANTE LA METODOLOGÍA ICA-PE EN EL DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO EN  
EL AÑO 2018-2019**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

2779 - LAZARTE ARREDONDO SONIA  
DICTAMINADOR



2829 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO  
DICTAMINADOR



3043 - PAREDES ZAVALA JOSHELYN MARIANGELA  
DICTAMINADOR



## DEDICATORIA

*A Dios, por haber iluminado nuestros pasos y darnos la oportunidad de fortalecernos y seguir nuestro camino con éxito en esta nueva etapa de nuestra vida y carrera.*

*A nuestra familia, en especial a nuestras madres, por su apoyo y amor incondicional, a nuestros padres quienes han sido testigos de nuestro esfuerzo en la culminación de este proyecto de vida, por la confianza depositada, por creer en nosotros, por su comprensión y aliento.*



## AGRADECIMIENTO

*Nuestro más sincero y profundo agradecimiento al área de Medio Ambiente de Compañía Minera Raura S.A., por permitirnos utilizar la información correspondiente al tema de nuestra tesis con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental.*

*A la Universidad Católica Santa María, quien nos preparó durante todo el proceso de formación profesional para llegar a esta etapa.*

*A nuestro asesor de tesis, Blgo. Armando Arenazas por sus consejos y orientación en el proceso de realización de este proyecto, nuestro proceso de titulación, también agradecer a nuestros queridos jurados, quienes también fueron grandes participes de este proyecto, así como impulsores en el desarrollo de nuestra vida profesional.*



## RESUMEN

La laguna Tinquicocha está ubicada en la microcuenca de Lauricocha que pertenece a la cuenca del río Marañón en la región de Huánuco, recibe los efluentes mineros provenientes de la Compañía Minera Raura que produce plata, cobre, plomo y zinc que provoca impactos tanto directos como indirectos en las condiciones fisicoquímicas iniciales de las aguas de la laguna, las que utiliza en sus procesos y revierte pudiendo afectar la vida acuática y silvestre del lugar.

El objetivo de la presente investigación es evaluar los parámetros fisicoquímicos de la laguna Tinquicocha y estimando los índices de calidad ambiental, dichos resultados han sido expresados en mapas temáticos elaborados con la ayuda del software ArcGIS. Los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron determinados por la metodología ICA-PE, esta es aprobada por la Autoridad Nacional del Agua mediante Resolución Jefatural 068-2018-ANA estableciendo los siguientes parámetros: potencial de hidrogeno (pH), conductividad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, manganeso, mercurio, plomo, zinc, los cuales fueron comparados con los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales, determinando que sólo los parámetros de potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto, manganeso y plomo para la temporada húmeda del año 2018 y los parámetros de potencial de hidrogeno (pH), manganeso, plomo para la temporada húmeda del año 2019 superan los estándares de calidad ambiental para agua, esto debido a fenómenos meteorológicos de precipitaciones característicos de la zona y de la temporada, como también la presencia de plomo en la estación L-2 es debido a material particulado en suspensión. El resultado de los índices de calidad ambiental para la laguna Tinquicocha en la mayoría de las estaciones fue de excelente, a excepción del punto L-2 de la temporada húmeda del 2018 que obtuvo el valor de “bueno” y la estación E-4A de

la temporada húmeda del año 2019 que también obtuvo la calificación de “bueno”, significaría que el transporte y/o dispersión de contaminantes es casi nulo por el estado “excelente” de los demás puntos, a su vez, se establece que la calidad de las aguas de la laguna Tinquicocha posee una aptitud agrícola y ganadera, por lo que las actividades que se desarrollan con las aguas de la laguna no se encuentran afectadas por la presencia de amenaza, daños o impactos significantes.

**Palabras claves:** Índices de calidad ambiental, parámetros fisicoquímicos, calidad del agua.



## ABSTRACT

A lagoon is the extension of water surrounded by land by all its small parts compared to a lake (Forbes, 1887), they have an environmental importance as a regulator of temperature and reserve, it serves as a water source for the fauna that exists for its surroundings, and for the livestock activity that the communities require.

The objective of this research is to evaluate the physicochemical parameters of the Tinquicocha lagoon and estimating the environmental quality indices, these results have been expressed in thematic maps prepared with the help of the ArcGIS software. The physicochemical parameters evaluated were selected by the ICA-PE methodology, this is approved by the National Water Authority through Chief Resolution 068-2018-ANA establishing the following parameters: hydrogen potential (pH), conductivity, dissolved oxygen, biochemical demand of oxygen, aluminum, arsenic, boron, cadmium, copper, manganese, mercury, lead, zinc, which were compared with the environmental quality standards for water, category 3, subcategory D-2 drinking water for animals, determining that only the potential parameters of hydrogen (pH), dissolved oxygen, manganese and lead for the wet season of the year 2018 and the parameters of potential of hydrogen (pH), manganese, lead for the wet season of the year 2019 exceed the environmental quality standards for water, this due to meteorological phenomena of precipitation characteristic of the area and of the season, as well as the presence of lead in the L-2 station is due to or a particulate matter in suspension. The result of the environmental quality indices for the Tinquicocha lagoon in most of the stations was, an exception of point L-2 of the 2018 wet season that obtained the value of "good" and station E-4A of the wet season of the year 2019 that also obtained the qualification of "good", it would mean that the transport and / or dispersion of pollutants is almost null due to the "excellent" state of the other points, in turn, it is established that the quality of The waters of the Tinquicocha lagoon

have an agricultural and livestock aptitude, so the activities carried out with the waters of the lagoon are not affected by the presence of threat, damage or significant impacts.

**Keywords:** Environmental quality indices, physicochemical parameters, water quality.





## INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial para la vida, sin ella el hombre no podría existir, las fuentes de agua han sido contaminados gradualmente y fueron las causantes de muchas epidemias que diezmaron ciudades enteras en la antigüedad. A medida que la humanidad continuó su desarrollo, las descargas de aguas residuales domésticas e industriales empezaron a contaminar los recursos hídricos a deteriorar los ecosistemas, actualmente, la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y de buena calidad es una de las principales necesidades de cualquier población, se busca diagnosticar los problemas y analizar las variables de la calidad de agua y sus tratamientos. (Sierra, 2011)

Partiendo de esto último, el presente trabajo tiene como objetivo, principal, evaluar cualitativamente la calidad de las aguas superficiales de la laguna de Tinquicocha en la Provincia de Lauricocha en el Departamento de Huánuco.

Esta tesis se divide en cuatro capítulos: el primer capítulo comprende el planteamiento del problema, donde se desarrolla la definición del problema referido a la calidad ambiental fisicoquímica de la laguna Tinquicocha, redacción de los trabajos de investigación similares al tema tratado a nivel internacional, nacional y regional, exposición de los objetivos general y específico, así como la justificación y la operacionalización de variables; el segundo capítulo, se refiere al marco legal normativo nacional y el marco teórico y los conceptos en que se basa la presente investigación como es la definición de agua, calidad de agua, explicar los parámetros fisicoquímicos y los efectos al medio ambiente y la salud y, las ventajas de la aplicación del Índice de Calidad Ambiental; en el tercer capítulo se explica el área de estudio y la metodología de muestreo establecido por la Autoridad Nacional de Agua y la técnica usada para los análisis de los parámetros fisicoquímicos, así como el procedimiento para la determinación de los índices de calidad fisicoquímicos; el cuarto capítulo, describe la discusión de los

resultados en donde se compara los parámetros evaluados con los estándares de calidad ambiental de agua para categoría 3 agua de bebida de animales y riego de vegetales, los resultados de los ICA-PE y los mapas con las estaciones de monitoreo sobre la laguna de Tinquicocha y, finalizando con las conclusiones y recomendaciones.



## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VI</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>9</b>
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>9</b>
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	9
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
1.3 ANTECEDENTES .....	10
1.4 OBJETIVOS.....	15
1.4.1 <i>Objetivo General</i> .....	15
1.4.2 <i>Objetivos Especificos</i> .....	15
1.5 HIPÓTESIS.....	15
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	15
1.6.1 <i>Aspecto social</i> .....	15
1.6.2 <i>Aspecto económico</i> .....	16
1.6.3 <i>Aspecto ambiental</i> .....	16
1.6.4 <i>Aspecto tecnológico</i> .....	16
1.7 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	17

1.7.1	<i>Variables Independientes</i> .....	17
1.7.2	<i>Variables Dependientes</i> .....	17
1.7.3	<i>Operacionalización De Variables</i> .....	17
<b>CAPITULO II</b> .....		<b>18</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
2.1	MARCO LEGAL NORMATIVO .....	18
2.2	CONCEPTO DE LAGUNA .....	18
2.3	CONCEPTO DE AGUA .....	19
2.3.1	<i>Propiedades físicas y químicas</i> .....	19
2.4	CONTAMINACIÓN DEL AGUA .....	20
2.5	CALIDAD DE AGUA .....	20
2.6	CICLO HIDROLÓGICO .....	20
2.7	PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS .....	22
2.7.1	<i>Parámetros físicos</i> .....	22
2.7.1	<i>Parámetros químicos</i> .....	23
2.7.2	<i>Metales pesados</i> .....	24
2.8	ÍNDICE DE CALIDAD FISICOQUÍMICO DEL AGUA (ICA).....	26
2.8.1	<i>Ventajas y limitaciones</i> .....	26
2.9	MUESTREO, PRESERVACIÓN, CONSERVACIÓN Y ENVÍO DE MUESTRAS AL LABORATORIO .....	27
2.10	ÍNDICES DE CALIDAD AMBIENTAL (ICA-PE) .....	27
2.10.1	<i>Determinación de índices de calidad ambiental</i> .....	27
2.10.2	<i>Índices de calidad ambiental</i> .....	30
2.11	CÁLCULO DE ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA-PE) .....	31
2.12	SOFTWARE ARCGIS.....	33

<b>CAPITULO III.....</b>	<b>35</b>
<b>3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>35</b>
3.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA DE LA LAGUNA TINQUICOCHA PARA LAS ÉPOCAS HÚMEDA Y SECA DEL 2018 Y HÚMEDA DEL 2019.....	35
3.1.1 <i>Tipo de investigación</i> .....	35
3.1.2 <i>Población</i> .....	35
3.1.3 <i>Muestra</i> .....	35
3.1.4 <i>Muestreo de aguas superficiales</i> .....	22
3.1.5 <i>Procedimiento de medición de parámetros de campo</i> .....	23
3.1.6 <i>Procedimiento de monitoreo de parámetros físicoquímicos y microbiológicos</i> .....	23
3.1.7 <i>Materiales Y Equipos</i> .....	24
3.1.8 <i>Instrumentos de recolección de datos</i> .....	25
3.2 DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE CALIDAD AMBIENTAL (ICA-PE) .....	25
3.2.1 <i>Determinación del ICA-PE para un monitoreo</i> .....	27
3.2.2 <i>Cálculo del índice de calidad del agua</i> .....	28
3.2.3 <i>Hoja de cálculo</i> .....	28
3.3 ELABORACIÓN DE MAPA DE EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD AMBIENTAL FÍSICOQUÍMICO DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO SOBRE LA LAGUNA TINQUICOCHA .....	30
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>31</b>
<b>4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
4.1 POTENCIAL DE HIDROGENO .....	31
4.2 CONDUCTIVIDAD.....	34
4.3 OXÍGENO DISUELTO .....	36
4.4 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO <sub>5</sub> ) .....	38

4.5	ALUMINIO .....	39
4.6	ARSÉNICO .....	41
4.7	BORO .....	42
4.8	CADMIO .....	44
4.9	COBRE.....	45
4.10	MANGANESO.....	47
4.11	MERCURIO .....	48
4.12	PLOMO .....	50
4.13	ZINC.....	51
4.14	ÍNDICES DE CALIDAD DE LA LAGUNA TINQUICOCHA .....	53
4.14.1	ICA-PE temporada húmeda 2018.....	53
4.14.2	ICA-PE temporada seca 2018.....	53
4.14.3	ICA-PE temporada húmeda 2019.....	54
4.14.4	Comparaciones de ICA-PE 2018-2019.....	55
4.15	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	57
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>70</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>76</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Operacionalización de variables.</i> .....	17
Tabla 2: <i>Interpretación de los índices de calidad ambiental.</i> .....	33
Tabla 3: <i>Descripción de las estaciones de monitoreo.</i> .....	22
Tabla 4: <i>Parámetros a evaluar en el ICA-PE.</i> .....	26
Tabla 5: <i>Medición de pH en la laguna Tinquicocha.</i> .....	33
Tabla 6: <i>Medición de conductividad en la laguna Tinquicocha.</i> .....	35
Tabla 7: <i>Mediciones de oxígeno disuelto en la laguna Tinquicocha.</i> .....	36
Tabla 8: <i>Concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la laguna Tinquicocha.</i> .....	38
Tabla 9: <i>Concentración del aluminio en la laguna Tinquicocha.</i> .....	39
Tabla 10: <i>Concentración de arsénico en la laguna Tinquicocha.</i> .....	41
Tabla 11: <i>Concentración de boro en la laguna Tinquicocha.</i> .....	42
Tabla 12: <i>Concentración de cadmio en la laguna Tinquicocha.</i> .....	44
Tabla 13: <i>Concentración de cobre en la laguna Tinquicocha.</i> .....	45
Tabla 14: <i>Concentración de manganeso en la laguna Tinquicocha.</i> .....	47
Tabla 15: <i>Concentración de mercurio en la laguna Tinquicocha.</i> .....	48
Tabla 16: <i>Concentración de plomo en la laguna Tinquicocha.</i> .....	50
Tabla 17: <i>Concentración de zinc en la laguna Tinquicocha.</i> .....	51
Tabla 18: <i>Resultados de los índices de calidad, temporada húmeda 2018.</i> .....	53
Tabla 19: <i>Resultados de los índices de calidad, temporada seca 2018.</i> .....	54
Tabla 20: <i>Resultados de los índices de calidad, temporada seca 2019.</i> .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución del agua en el mundo, SEMARNAT, 2015 .....	19
Figura 2: El ciclo hidrológico, Chow, Maidment y Mays, 1994.....	21
Figura 3: Ubicación de las estaciones monitoreo, Google Earth.....	38
Figura 4: Ingreso de datos correspondientes a los monitoreos realizados.....	29
Figura 5: Calculo de excedentes de cada parámetro, factores y valor del ICA.....	29
Figura 6: Resultados de la medición potencial de hidrogeno (pH). .....	34
Figura 7: Resultados de la medición de conductividad.....	36
Figura 8: Resultados de la medición de oxígeno disuelto.....	37
Figura 9: Resultados de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	39
Figura 10: Resultados de las concentraciones del aluminio.....	40
Figura 11: Resultados de la concentración del arsénico.....	42
Figura 12: Resultados de la concentración de boro.....	43
Figura 13: Resultados de la concentración de cadmio. ....	45
Figura 14: Resultados de concentración de cobre.....	46
Figura 15: Resultados de concentración de manganeso.....	48
Figura 16: Resultados de la concentración de mercurio.....	49
Figura 17: Resultados de la concentración de plomo.....	51
Figura 18: Resultados de la concentración de zinc. ....	52
Figura 19: Comparación de resultados de ICA-PE. ....	55



## CAPÍTULO I

### 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Definición del problema

El Perú es un país con mucha historia minera. Esta actividad ha estado presente en el territorio desde hace cientos de años. Actualmente el Perú es una minería polimetálica, se encuentra entre los líderes en producción de diversos metales, el desafío de la minería, y del país en su conjunto, es concretar su crecimiento de su producción, en un entorno de mayores exigencias ambientales. (Larrain Vial, 2011)

La laguna Tinquicocha está ubicada en la microcuenca de Lauricocha que pertenece a la cuenca del río Marañón, dicha laguna está ubicada en la región de Huánuco a una altura de 4358 m.s.n.m., las aguas de dicha laguna, se utilizan para el riego de vegetales y bebida de animales del centro poblado de Antacallanca, a su vez, las aguas de esta laguna descargan en una cadena de lagunas las cuales son usadas por otros centros poblados como Lauricocha, la laguna Tinquicocha es recepción de los efluentes mineros provenientes de la Minera Raura que produce plata, cobre, plomo y zinc, cercanas a la zona de influencia de la laguna Tinquicocha.

Entre las causas, son las actividades mineras y metalúrgicas las únicas causantes de contaminación ambiental. (Glave et ál., 2002). La etapa de explotación de un yacimiento genera un gran impacto, en mayor o menor medida contaminación alrededor de la explotación. Durante esta etapa podrían producirse escapes accidentales de efluentes tóxicos, y otros eventos accidentales que generen impactos aún mayores de lo previsto (Oyarzum et ál., 2011). En la etapa de procesamiento de mineral se consume grandes cantidades de recursos (agua y energía), que en sus procesos industriales se recupera y reutiliza. Sin embargo, hay agua que luego de procesada se devuelve a los ríos y otra que

se requiere para garantizar las reacciones químicas necesarias (Red Muqui, 2014), cuya alteración de las condiciones hidrológicas favorece la dispersión de material contaminante, e incrementa el área afectada.

Las consecuencias por presencia de metales pesados en el agua, aún en pequeñas cantidades pueden ser tóxicos para los humanos y la vida silvestre. Arrastrados por el agua, los metales pueden viajar largas distancias, contaminando los riachuelos y agua subterránea lejos del punto de origen. Y tienen un efecto silencioso y sobre todo peligroso para la salud. (Eróstegui, 2009). Estos impactos además de generar deterioro de la calidad ambiental del agua y daños a la salud, pueden provocar cambios de tipo socioambiental, afectando la dinámica económica de las comunidades aledañas, ya sea tanto por consumo humano o uso para tareas agrícolas, ganaderas y/o piscícolas conduciendo a conflictos sociales con las empresas mineras.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cuál es la calidad ambiental fisicoquímica de la laguna Tinquicocha determinada por los índices de calidad ambiental mediante la metodología ICA-PE durante el periodo húmedo – temporada de lluvias (diciembre, enero, febrero, marzo y abril) y para el periodo seco - temporada de heladas (mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre) por la presencia de una mina y la emisión de sus efluentes?

## **1.3 Antecedentes**

Álvarez et ál. (2006), desarrolla el índice de calidad del agua como método estandarizado para comparar la categoría de manera integral, entre localidades y a través del tiempo, de los distintos almacenamientos de agua, ríos y arroyos de la cuenca del Amajac. Además, se puede predecir el grado de contaminación y establecer estrategias de planeación en el manejo de los recursos hídricos para la cuenca en cuestión. La metodología utilizada se

basó en la expresión cuantitativa de calidad del agua. Los resultados obtenidos indican que la calidad del agua para uso urbano, agua de bebida, piscícola, y agrícola fue de Calidad Media (ICA = 50-69), en el 29% de los sitios muestreados dentro de la cuenca hidrológica del Río Amajac. Al mismo tiempo, el 59% de las localidades fue de Mala Calidad (ICA = 30-49). Por último, el 12% de los sitios se encontró altamente contaminado (ICA < 30). El mejor ajuste de los parámetros analizados se obtuvo con los modelos cuadráticos y cúbicos.

Coello et ál. (2013), estableció la calidad de agua utilizando el Índice de Calidad de Agua (ICA) de la National Sanitation Foundation de Estados Unidos (NSF). Para el análisis fisicoquímico y microbiológico se establecieron 6 puntos de monitoreo en el río Ozogoché, 8 en el Río Pichahuiña y 4 en el Pomacocho durante un año (febrero 2011 a febrero 2012) cubriendo las épocas secas y de lluvia. Los resultados promedio de nueve parámetros analizados se utilizaron para determinar el ICA de cada río, determinando que las tres microcuencas presentan buena calidad. Existen parámetros que muestran mayor variación como sólidos totales, sulfatos y conductividad cuyos picos máximos se alcanzaron en los meses de menor precipitación (de febrero a mayo).

Pérez (2017), determino el índice de calidad de agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales OMO, durante el periodo 2014 2015. Para la evaluación se utilizó el indicador ICA-NFS se calculó el índice de calidad de Brown-NSF en el río Moquegua antes del vertimiento presenta un ICA-NSF de 51,44 que representa calidad media y en el tramo después del vertimiento tiene un ICA-NSF de 44,18 que representa calidad mala.

Velarde (2016), determinó que los sitios más afectados son el sector de Tiabaya y el sector del Huayco, es aquí donde vemos que los valores de estos parámetros sobrepasan por mucho los ECA's, y los índices de calidad evaluados dan como resultado que es un

agua de mala calidad. En el sector del puente de San Martín aún tenemos un agua de buena calidad, y en el sector del puente de Tingo se presenta un agua de calidad regular, que si no tenemos el cuidado que amerita podemos convertirla en un agua de mala calidad.

Torres et al (2009), la evaluación de la calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizando el suministro de agua segura. Una herramienta son los índices de calidad de agua ICA. Para el uso de estas fuentes para abastecimiento humano, valores entre 90 y 100 de la generalidad de los ICA implican tratamientos menores como sólo desinfección, mientras que entre 50 y 90 requieren tratamiento convencional y en algunos casos tratamientos especiales que están asociados a mayores costos y complejidad.

Basílico et al (2015), los ambientes acuáticos de la llanura pampeana (Argentina) están sometidos a presiones humanas crecientes, tales como el vertido de aguas residuales domésticas e industriales. Se llevaron a cabo ocho campañas de muestreo en el período 2010-2013 tomándose muestras de agua superficial en varios sitios de los arroyos La Choza y Durazno (cuenca alta del Río Reconquista, Buenos Aires) y en canales que reciben efluentes agroindustriales (granjas avícolas y porcinas). El vertido de aguas residuales de la industria avícola contribuyó al incremento de las concentraciones de SST,  $\text{N-NH}_4^+$ , Pt y  $\text{DBO}_5$ . Los valores medios de ICA e ICAP fueron bajos y similares, aunque ICAP resultó más efectivo en la diferenciación de casos con calidades de agua extremas. Los principales factores que redujeron el valor del ICRP fueron la ausencia o escasa abundancia de hierbas palustres, la presencia de especies vegetales exóticas e invasoras y la existencia de estructuras transversales al cauce. Los resultados sugieren que el uso conjunto de los índices desarrollados consiste una alternativa útil en la evaluación ambiental de arroyos de la llanura pampeana.

Chávez (2018), se determinó el índice de calidad del agua que consumo humano de la población de Agua Fresca, ubicado en el distrito de Chontabamba provincia de Oxapampa. Los resultados finales arrojan que en el centro poblado de Agua Fresca tiene un ICA de 79,08 el cual fue determinado por el método NSF, donde considera 9 parámetros de mayor importancia como son: para el OD; coliformes fecales; pH; DBO<sub>5</sub>; NO<sub>3</sub>-N; fosfatos; desviación de temperatura; turbiedad y SDT; con una ponderación de para el 0,17; 0,15; 0,12; 0,10; 0,10; 0,10; 0,10 0,08 y 0,08 respectivamente. El ICA NSF de 79,08 está en el rango de 70-90 que nos indica que el agua que viene consumiendo esta población de calidad buena, como agua natural, pero debida a la mala calidad bacteriológica es necesario implementar otro tratamiento antes de consumirla.

López (2017), determinó los resultados de los parámetros fisicoquímicos, metales microbiológicos de la calidad de agua de la Bocatoma del río Cumbaza. Se determinó el índice de la calidad del agua de la Bocatoma del Río Cumbaza del distrito de Morales San Martín 2017. Los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos (DBO<sub>5</sub>, DQO, nitratos, nitritos, oxígeno disuelto, detergentes, sulfuro), metales totales, no excedieron los estándares de calidad de agua establecido por D.S N° 004 – 2017 MINAM Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación, muy diferente a los parámetros microbiológicos (Coliformes Fecales, Escherichia Coli) sobrepasaron la normativa nacional, debido a factores antropogénicas. Se recomienda hacer un seguimiento de los monitoreos más seguido para identificar cual es la fuente causante de estos contaminantes que están perjudicando los resultados de los parámetros microbiológicos.

Moreno (2015), tuvo como objetivo determinar el índice de calidad del agua (ICA) en el sistema de abastecimiento de agua potable rural en el Centro Poblado de Paria Willcahuain - Independencia con el fin de disminuir las tasas de morbilidad y mortalidad

producidas por enfermedades de transmisión hídrica; las muestras seleccionadas fueron 35 grifos de los hogares y 4 captaciones. Los resultados que se obtuvo para las captaciones: ICABrown=74.26, ICADinius=62.41, ICALandwer y Deninger=67.27, ICATyson y House=55.39, ICASwamee y Tiagi=35.65 y el ICAccMÉ=54.78. Para los grifos de los hogares: ICABrown=75.31, ICADinius=63.56, ICALandwer y Deninger=68.12, ICATyson y House=50.90, ICASwamee y Tiagi=33.28 y el ICAccME=65.07; se concluye que la calidad del agua del sistema de abastecimiento en las captaciones y en los puntos de entrega (35 grifos de hogares) no son aptas para el consumo humano requiriéndose tratamiento del tipo A-2.

López (2018), la concentración de Arsénico, en el mes de noviembre 2016, la estación AG-01, superó el estándar de calidad de agua con 0.168 mg/L; en el mes de julio 2017, las dos (02) estaciones superaron el estándar de calidad de agua, y en el mes de febrero 2018, la estación AG-01, supero el estándar de calidad de agua con 0.11824 mg/L. Las concentraciones de Boro, en los meses de noviembre 2016, julio 2017 y febrero 2018, en las dos (02) estaciones de monitoreo superaron el estándar de calidad de agua, con una concentración máxima de 5.278 mg/L en la estación AG-02. Para los demás metales Cadmio, Cromo, Cobre, Mercurio y Plomo, en las dos (02) estaciones de monitoreo estuvieron por debajo de los estándares de calidad de agua. Finalmente, al determinar el Índice de calidad de agua para las (02) dos estaciones de monitoreo, revela que las aguas del río tambo presentan una calidad REGULAR.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 *Objetivo General*

- Evaluar los índices de calidad ambiental fisicoquímicos mediante la metodología ICA-PE, de la laguna Tinquicocha para las épocas húmeda y seca del 2018 y época húmeda del 2019.

### 1.4.2 *Objetivos Específicos*

- Determinar los parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna Tinquicocha para las épocas húmeda y seca del 2018 y época húmeda del 2019.
- Determinar los índices de calidad ambiental fisicoquímicos sobre las aguas de la laguna Tinquicocha del 2018 y 2019.
- Elaborar el mapa de evaluación de los Índices de Calidad Ambiental fisicoquímico de las estaciones de monitoreo sobre la laguna Tinquicocha.

## 1.5 HIPÓTESIS

Dado que los efluentes mineros, que son descargados hacia las aguas de la laguna Tinquicocha podrían estar afectando la calidad fisicoquímica de la laguna, entonces, mediante la aplicación de los índices de calidad ambiental (ICA-PE) se podrá determinar la calidad de las aguas de la laguna Tinquicocha en el periodo húmedo y seco de 2018 y húmedo de 2019.

## 1.6 JUSTIFICACIÓN

### 1.6.1 *Aspecto social*

Las aguas de la laguna Tinquicocha, tiene una relevancia social muy importante para la comunidad de Antacallanca y centros poblados aledaños aguas abajo, dichas aguas tienen un uso de ganadero y cultural para dichas comunidades, y tener un conocimiento bien

detallado de sus condiciones fisicoquímicas, podría evitar futuros conflictos sociales con la empresa minera.

### ***1.6.2 Aspecto económico***

Las aguas de la laguna Tinquicocha, tiene una importancia económica significativa, por su uso en actividades ganaderas, principal actividad económica de las comunidades de Antacallanca y poblaciones aguas abajo, también en la actividad turística, dicha actividad genera ingresos directos a los pobladores de la zona, evaluar la calidad fisicoquímica aportaría un mayor beneficio económico a las actividades descritas anteriormente.

### ***1.6.3 Aspecto ambiental***

La minería es una actividad que produce efluentes con altas concentraciones de metales pesados, antiguamente dichos efluentes eran descargados sobre ríos, lagunas y lagos sin tratamiento previo. La minería moderna actual, les da un tratamiento a dichos efluentes, para minimizar las concentraciones de los contaminantes y cumplir con la normativa ambiental vigente nacional.

Una evaluación de la calidad de las aguas superficiales de la laguna Tinquicocha, es necesaria, para conocer las condiciones fisicoquímicas de dichas aguas, las cuales son consumidas por los animales vacunos y ovinos propios de los pobladores de las comunidades aledañas a dicha laguna.

### ***1.6.4 Aspecto tecnológico***

La utilización de la metodología de los índices de calidad ambiental, establecidos por la Autoridad Nacional del Agua mediante Resolución Jefatura N° 068-2018-ANA. La presente es una herramienta que tiene como principal finalidad la valoración simplificada del estado de la calidad del agua, y que contribuirá con una mejor presentación y a la gestión de calidad de los recursos hídricos. El alcance de esta metodología es de



aplicación obligatoria para la Autoridad Nacional del Agua y sus órganos desconcentrados y también sirve como referencia en el ámbito nacional para las instituciones públicas, privadas y la sociedad civil vinculada a la calidad de los recursos hídricos.

Se ha utilizado el programa de ArcGIS versión 10.3, el cual nos permitió recopilar, organizar, analizar y distribuir la información geográfica de las estaciones de monitoreo, mediante mapas de la laguna Tinquicocha.

## 1.7 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

### 1.7.1 Variables Independientes

Parámetros fisicoquímicos

### 1.7.2 Variables Dependientes

Calidad de las aguas superficiales de la laguna Tinquicocha.

### 1.7.3 Operacionalización De Variables

Tabla 1: Operacionalización de variables.

Variable independiente	Indicadores	Unidades
Parámetros fisicoquímicos	pH	Escala 0-14
	Conductividad	μS/cm
	Oxígeno disuelto	mg/L
	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L
	Metales (Al, As, B,Cd, Cu, Mn, Pb, Zn)	mg/L
Variable dependiente	Indicadores	Unidades
Calidad de las aguas superficiales	ICA-PE	Excelente (90-100)
		Bueno (75-89)
		Regular (45-74)
		Malo (30-44)
		Pésimo (29-0)

Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO II

### 2 Fundamento teórico

#### 2.1 Marco legal normativo

- Constitución política del Perú, Art. 2. Inciso 22. A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.
- Constitución política del Perú, Art. 67. El Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.
- Ley N<sup>o</sup> 28611, Ley General del Ambiente
- Ley N<sup>o</sup> 29338, Ley de Recursos Hídricos.
- Decreto Supremo N<sup>o</sup> 004-2017-MINAM, Aprueban estándares de calidad ambiental para agua.
- Decreto Supremo N<sup>o</sup> 001-2010-AG, Reglamento de la ley de Recursos Hídricos, modificado por el Decreto Supremo N<sup>o</sup>006-2017-AG.
- Resolución Jefatural N<sup>o</sup> 068-2018-ANA, Metodología para la determinación de Índices de Calidad de Agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continental superficial.

#### 2.2 Concepto de laguna

Una laguna es una acumulación de agua de una profundidad menor a la de un lago. Por lo general sus aguas son dulces y dan lugar a una variada flora y fauna tanto en sus inmediaciones terrestres como desde el punto de vista acuático. Se forman habitualmente por la existencia de un terreno hundido y la presencia de lluvias o la influencia de ríos, contraponiéndose a los lagos, que generalmente deben su formación a la influencia de los glaciares y su accionar. (Jimeno, 1998)

## 2.3 Concepto de agua

Es una sustancia abiótica, la más importante de la tierra y uno de los más principales constituyentes del medio en que vivimos y de la materia viva. El agua cubre aproximadamente el 75% de la superficie terrestre, la misma que se halla distribuida como: aguas oceánicas (97%), aguas superficiales (2,5%), aguas subterráneas (0,45%) y aguas en estado gaseoso (0,001%) ver figura 1, estas aguas por medio del ciclo hidrológico están sujetas a cambios del tipo cíclico. (Jimeno, 1998).

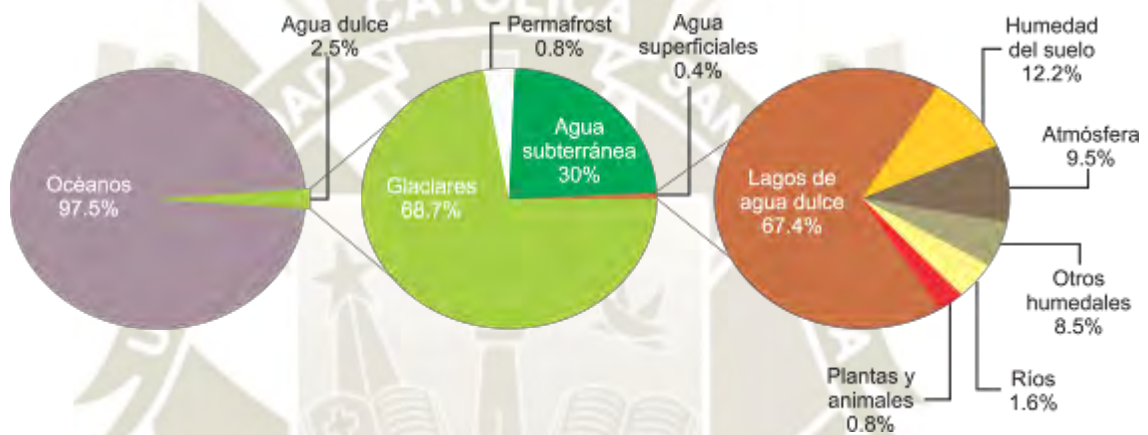


Figura 1: Distribución del agua en el mundo, SEMARNAT, 2015.

### 2.3.1 Propiedades físicas y químicas

Según Jimeno (1998), indica las siguientes propiedades físicas y químicas:

#### 2.3.1.1 Propiedades físicas

- Es un cuerpo líquido, incoloro, inodoro e insípido.
- En grandes cantidades toma una coloración azul-verdosa.
- Su densidad es igual a  $1 \text{ g/cm}^3$  cuando se determina a  $40^\circ\text{C}$  y al nivel del mar.
- Hierve a la temperatura de  $100^\circ\text{C}$  al nivel del mar.
- Su punto de solidificación es de  $0^\circ\text{C}$  (forma el hielo).
- Tiene gran poder disolvente por lo que se le llama "disolvente universal".

### 2.3.1.2 Propiedades químicas

- Se combina con metales y no metales dando óxidos.
- Se combina con óxidos metálicos resultando bases.
- Se combina con óxidos no metálicos dando ácidos oxácidos.
- Se descompone por electrólisis de hidrógeno y oxígeno.
- Para descomponerse por otro procedimiento necesita temperaturas superiores a  $27^{\circ}\text{C}$ .

## 2.4 Contaminación del agua

La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de este recurso, además de una gran generación de residuos, muchos de los cuales van a parar a los ríos, laguna y mares, y el uso de los medios de transportes fluviales y marítimos que en muchas ocasiones son causa de contaminación (Echarri, 1998).

## 2.5 Calidad de agua

La calidad del agua está determinada por las características fisicoquímicas y biológicas, y por el uso, es decir, cómo va a ser utilizada, alterar estas características podría afectar la salud de ser humano y de los demás seres vivos que depende de ella, evitar emitir o verte cualquier tipo de residuo sólidos líquido o gaseoso puede modificar dichas características de los cuerpos de agua (Medina et ál., 2013).

## 2.6 Ciclo hidrológico

El ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua. Cómo el agua se evapora desde los océanos y desde la superficie terrestre para volverse parte de la atmosfera; el vapor de agua se transporta y se eleva en la atmosfera hasta que se

condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos; el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo superficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial. La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial la cual es aprovechada por el hombre, creando infraestructura de almacenamiento (presas), para consumo humano y otras actividades económicas y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hidrológico continúa (Sierra, 2011).

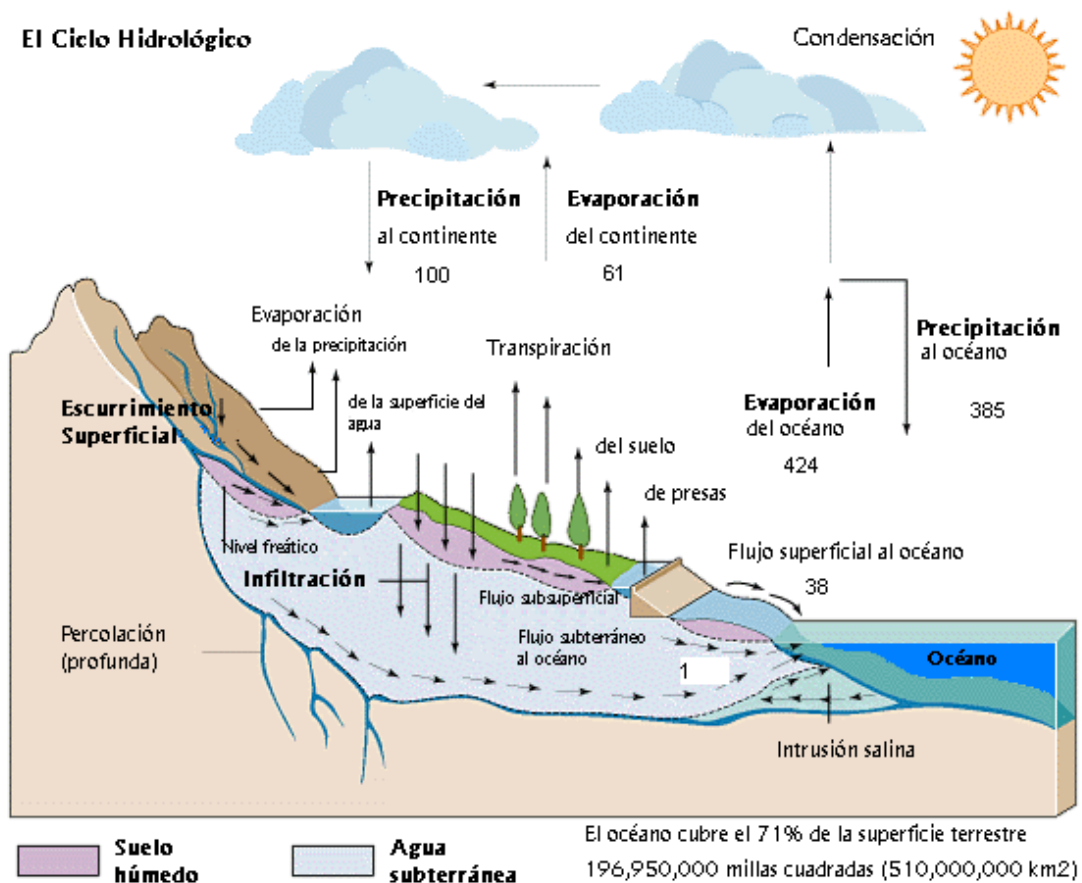


Figura 2: El ciclo hidrológico, Chow, Maidment y Mays, 1994.

## 2.7 Parámetros físicos, químicos

Los parámetros de calidad están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos, a continuación, se definen algunos de estos parámetros.

### 2.7.1 Parámetros físicos.

Son parámetros que tienen incidencia sobre las condiciones estéticas del agua.

#### 2.7.1.1 Turbiedad.

La turbiedad es la presencia de material en suspensión (arenas, limos, coloides orgánicos, plancton, etc.) que obstaculizan el paso de la luz, es producida las siguientes causas, erosión de los suelos y rocas que aportan de material en suspensión y sedimentos a los cauces de los ríos y la contaminación por residuos orgánicos e industriales (Marín, 2003; Sierra, 2011).

#### 2.7.1.2 Color.

El color es la concentración de sustancias disueltas coloides de diámetro menores a  $10^{-3}$  mm (Sierra, 2011), la presencia proviene también de numerosas sustancias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales y de metales como el Fe y Mn, se mide en mg/l de Pt-Co (Marín, 2003).

#### 2.7.1.3 Olor y sabor.

El agua es inolora e insípida, la presencia de estos parámetros se debe a la descomposición de compuestos orgánicos y descargas industriales, no existen instrumentos para cuantificarlos, se reportan como presentes y no presentes (Sierra, 2011).

#### 2.7.1.4 Temperatura.

La temperatura es la absorción de radiación en las capas superiores de los cuerpos de agua ligado a la energía cinética de sus moléculas, es un parámetro importante, porque,

afecta directamente a la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas que se producen en el agua (Marín, 2003; Sierra, 2011).

### **2.7.1 Parámetros químicos.**

En este ítem se detallan los principales parámetros presentes en el agua.

#### *2.7.1.1 Potencial de hidrogeno (pH).*

El pH mide la acides o basicidad del agua, definido como el logaritmo negativo de la concentración de hidrogeno, se encuentra en una escala entre 0-14, este parámetro es medido en laboratorio o en campo por instrumentos electrónicos como el pH-metro (Sierra, 2011).

#### *2.7.1.2 Conductividad.*

La conductividad es un indicativo de la presencia de sales disueltas y sólidos disueltos en el agua, midiendo la cantidad de iones como bicarbonatos, cloruros, sulfatos, etc., se mide en *siems* por metro (S/m), la conductividad del agua del mar está entre 45-55 S/cm, del agua de lluvia 5-50  $\mu$ /cm (Sierra, 2011).

#### *2.7.1.3 Oxígeno disuelto.*

Es la presencia de oxígeno en el agua que sirve para que la biota pueda realizar sus funciones principales, la ausencia de este parámetro indica la contaminación de los cuerpos de agua por la presencia de materia orgánica (eutrofización), este parámetro está en función de los factores, como es la temperatura, pH, presión, sus unidades de medida son en mm/l (Marín, 2003).

#### *2.7.1.4 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)*

Utilizado para determinar el contenido de materia orgánica en el agua, midiendo la cantidad de oxígeno que se requieren los microorganismos para degradar, oxidar la materia orgánica (Sierra, 2011).

#### *2.7.1.5 Demanda química de oxígeno (DQO)*

Es un parámetro utilizado para determinar el contenido de materia orgánica en la muestra de agua, esta prueba utiliza sustancias químicas a diferencia de la demanda bioquímica de oxígeno (Sierra, 2011).

#### *2.7.2 Metales pesados.*

Son elementos químicos que se caracterizan por poseer una densidad superior a 5 g/cm<sup>3</sup>, varios elementos son esenciales para el organismo vivo, los utilizados en procesos industriales llegan a ser perjudiciales para la salud pública (Delgado, 2004).

Los metales pesados como el arsénico, cadmio, cromo, níquel, selenio cobren y otras sustancias tóxicas, pueden ocasionar vómitos y dolores abdominales, afectar el sistema nervioso y ocasionar cáncer a los diferentes órganos del cuerpo humano (Gonzales, 2012).

A continuación, se definen algunos metales pesados.

##### *2.7.2.1 Aluminio.*

El aluminio se encuentra de forma natural en los silicatos de la geología de la corteza terrestre, pudiendo encontrarse como sales solubles o bien como compuestos coloidales, si ingreso a los cuerpos de agua es por medio de la erosión de las rocas silíceas, estas concentraciones pueden variar entre 12 µg/l y 2.25 mg/l (Marín, 2003). El sulfato de aluminio se usa para la potabilización del agua como floculante, concentraciones mayores



a 1.5 mg/l constituye un riesgo a la salud (Sierra, 2011), favoreciendo desórdenes neurológicos, catalogado por la Asociación Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como una sustancia potencial de inducir cáncer en el hombre (Marín, 2003).

#### 2.7.2.2 *Arsénico*

El arsénico es un elemento presente en la corteza terrestre, procedentes de emisiones volcánicas, la presencia de este metal en las aguas superficiales es debido a la disolución de sus sales solubles, debido a la erosión hídrica ocasionado por las precipitaciones pluviales, otras fuentes son los procesos metalúrgicos (Marín, 2003) y la fabricación y utilización de herbicidas o pesticidas, esta sustancia es bioacumulada, teniendo efectos dañinos en el tiempo y llegando a ser mortales (Sierra, 2011).

#### 2.7.2.3 *Cadmio.*

El cadmio es un elemento traza, se encuentra asociado a minerales como el zinc, utilizado en la fabricación de pilas de botón, la solubilidad del elemento en agua está en función del pH, en medio más ácido la solubilidad se incrementa, el metal tiene una característica de bioacumulación en el organismo afectando especialmente al hígado, riñones y sistema óseo (donde se intercambia por calcio) es un irritante gastrointestinal (Marín, 2003; Sierra, 2011).

#### 2.7.2.4 *Cobre.*

Elemento metálico que se encuentra en la naturaleza formando varios compuestos como óxidos, sulfatos complejos y carbonatos, el cobre en concentraciones traza está vinculado a la producción de hemoglobina y eritrocitos; concentraciones superiores a 5 mg/l provoca irritaciones gástricas a las personas (Marín, 2003).

### 2.7.2.5 Plomo.

El plomo se encuentra en la corteza terrestre en forma de carbonatos y sulfuros, utilizados como aditivo en los combustibles, la fabricación de baterías, pinturas y formulación de pesticidas, cuando este metal se encuentra en el agua afecta la vida acuática, causándoles sofocación, en el ser humanos es acumulativo ocasionado saturnismo (Marín, 2003; Sierra, 2011).

## 2.8 Índice de calidad fisicoquímico del agua (ICA)

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. Para simplificar la interpretación de los datos de su monitoreo, existen índices de calidad de agua (ICA), 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 de evaluar los procesos de contaminación y el número de variables tonadas en cuenta en la formulación del índice respectivo (Fernández et ál., 2003).

### 2.8.1 Ventajas y limitaciones

VENTAJAS	LIMITACIONES
Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua.	Proporcionan un resumen de los datos.
Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio.	No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.
Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.	No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua.
Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos.	Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación.
Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas.	No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra.
Permiten priorizar para evaluaciones de calidad del agua más detalladas.	Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal.

Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua.

Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad de los ICA como una herramienta para la gestión.

Ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión

Fuente: Torres Vega F. (2009)

## 2.9 Muestreo, preservación, conservación y envío de muestras al laboratorio

La etapa de recolección de muestras es de trascendental importancia. Los resultados de los mejores procedimientos analíticos serán inútiles si no se recolecta y manipula adecuadamente las muestras. Es importante considerar las etapas que se tiene que dar para la toma de muestras de agua, con la finalidad que la muestra sea lo más representativa posible y así asegurar la integridad desde su recolección hasta el reporte de los resultados. (Autoridad Nacional del Agua, 2016)

## 2.10 Índices de calidad ambiental (ICA-PE)

### 2.10.1 Determinación de índices de calidad ambiental.

Según el portal del MINSA ([minsa.gob.pe](http://minsa.gob.pe)), en su apartado *Contaminación por Metales Pesados*, indica que: La contaminación es uno de los problemas **ambientales** más importantes que afectan a nuestro mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, debido a los diferentes procesos productivos del hombre (fuentes antropogénicas como la minería) y actividades de la vida diaria, causando efectos adversos en el hombre, animales y vegetales; problemática a la que el Perú no es ajeno. En nuestro país entre los principales agentes contaminantes identificados tenemos: el plomo, mercurio, aluminio, arsénico, magnesio, manganeso, etc. Adicionalmente a ello tenemos la presencia cada vez mayor de las poblaciones ubicadas dentro del área de influencia de las actividades productivas

entre ellas la minería y el mayor conocimiento sobre el impacto ambiental y los riesgos a la salud ocasionados por los diferentes metales pesados y otras sustancias químicas.

El portal de SPDA *Actualidad Ambiental* ([actualidadambiental.pe](http://actualidadambiental.pe)), en su noticia Arequipa: Identificaron el origen de contaminación con metales pesados en cuenca Alto Tambo, 2017, precisaron que, en un análisis, se evidenció la presencia de metales pesados como aluminio, cobre y manganeso. Se recogieron muestras de agua y parámetros de campo. El análisis de las muestras se realizó en un laboratorio certificado, los resultados arrojaron que por la naturaleza hidrológica y actividades antropogénicas en la zona evaluada correspondiente al río Coralaque y sus principales afluentes, se evidenció la presencia de metales pesados como aluminio, cobre y manganeso. Los porcentajes obtenidos en las muestras evidencian que estos exceden los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3 que establece “Riego de vegetales y bebida animal”. Roberto Ticona afirmó que los resultados del monitoreo indican que estos cuerpos de agua evaluados se encuentran afectados y que aún no se puede identificar la causa de afectación, por lo que es necesario identificar las fuentes contaminantes. Su identificación permitió implementar una red de alerta temprana, para conocer sobre hechos o acontecimientos en relación con la conservación y protección de los recursos hídricos en la cuenca Alto Tambo.

Tal como expresan Osores, Grandez & Fernández (2010) en su artículo titulado *Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú*. El  $Hg^{2+}$  se metila en cuerpos de aguas marinas, estuarios, lagunas, ríos, entre otros, bien por metilación aeróbica o por metilación anaerobia de especies de bacterias. Los humanos estamos expuestos al mercurio mediante diferentes rutas y de diferentes formas. La población en general está principalmente expuesta por amalgamas dentales, vapores ambientales y los alimentos de la dieta. Es decir que las tres vías principales de envenenamiento por Hg son la inhalatoria, oral y

dérmica/ mucosa. Además, existe una inminente contaminación por mercurio en el agua, peces y otros comestibles. SPDA *Actualidad Ambiental* en su noticia Contaminación por mercurio: un problema que va de la mano con la minería ilegal e informal; nos dice que el mercurio se introduce en los suelos y cuerpos de agua. Es decir, a los daños producidos a quienes trabajan con mercurio y las personas que viven cerca, se suman los daños a ríos, superficies y otras especies que forman parte del ecosistema

En el caso del Plomo, según Astete et ál. (2009); El plomo es un metal tóxico que se encuentra en forma natural, que no puede ser degradado o disociado por ser un elemento básico. La producción y uso del plomo en la industria y productos de consumo han expuesto a la población a este metal, siendo el control de emisiones la mejor forma para minimizar la introducción de plomo en el ambiente. El Perú es un país eminentemente minero, es el cuarto productor de plomo en el mundo, por lo que está expuesto a la contaminación ambiental producida por la explotación minera formal e informal, así como a los relaves producto de esta actividad. En zonas mineras como La Oroya o en lugares donde es depositado el plomo antes de su exportación como el Callao, es donde se encontraron altos niveles de plomo en sangre en la población que vive en estas zonas. En este estudio demostró que las poblaciones aledañas a relaves mineros también presentaron altos niveles de contaminación por plomo, por lo que no es recomendable que en estas zonas habiten poblaciones por los riesgos para la salud que ello implican y que las mineras realicen estrategias para evitar las consecuencias ambientales de los productos de su actividad.

Por otro lado, la metodología que se utilizó en la presente investigación, ICA-PE hace referencia a los parámetros más representativos para el tipo de agua a evaluar citando lo siguiente: «De acuerdo al análisis de la información procedente de los monitoreos de la calidad de los cuerpos de agua superficial, se han identificado los parámetros recurrentes

de evaluación en concordancia con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, así como la posible alteración al recurso hídrico y eventual riesgo a la salud y al ambiente...» (Autoridad Nacional del Agua, 2018, pág. 14.)

Estos parámetros físico-químicos en la zona de estudio según lo expuesto, resultan ser los más incidentes en el medio ambiente, teniendo a su vez una mediana incidencia para la alimentación de animales del lugar y de poca incidencia para la salud humana al no existir poblaciones cercanas al área de influencia del presente estudio.

### ***2.10.2 Índices de calidad ambiental.***

Los índices de calidad de agua (ICA), constituyen herramientas matemáticas que integran información de varios parámetros, permitiendo transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua.

De acuerdo con la Organización de Cooperación de Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés), los indicadores ambientales tienen dos funciones principales:

1. Reducen el número de mediciones y los parámetros que normalmente se requieran para hacer una representación exacta de una situación y
2. Simplifican el proceso de comunicación de los resultados de la medición.

En ese sentido, los ICA's constituye un instrumento fundamental en la gestión de la calidad de los recursos hídricos debido a que permite transmitir información de manera sencilla sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general; e identifica y compara las condiciones de calidad del agua y sus posibles tendencias en el espacio y el tiempo siendo la valoración de la calidad del agua en una escala de 0-100, donde 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente. Por lo expuesto, este índice ha tenido un uso generalizado desde su creación y es empleado por varios países. (Autoridad Nacional del Agua, 2018)

## 2.11 Cálculo de índice de calidad de agua (ICA-PE)

Para la determinación del índice de calidad de agua se aplica 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 representa y describe 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:

- **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.

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA - Agua}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}}$$

- **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).

$$F2 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA - Agua de los Datos Evaluados}}{\text{Número total de datos evaluados}}$$

Dónde:

Datos: Resultados de los monitoreos.

- **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.

$$F3 = \frac{\text{Suma normalizada de excedentes}}{\text{Suma normalizada de excedentes} + 1} \times 100$$

En donde, la suma normalizada de excedentes (nse):

$$nse = \text{suma normalizada de excedentes} = \frac{\sum \text{excedente}}{\text{total de datos}}$$

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:

$$\text{Excedente } i = \frac{\text{valor del parámetro que no cumple el ECA - Agua}}{\text{valor establecido del parámetro en ECA - Agua}} - 1$$

- **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:

$$\text{Excedente } i = \frac{\text{valor establecido del parámetro en el ECA - Agua}}{\text{valor del parámetro que no cumple el ECA - Agua}} - 1$$

Una vez obtenido el valor de los factores ( $F_1$ ,  $F_2$ , y  $F_3$ ) se procede a realizar el Cálculo del Índice de Calidad de Agua, siendo este la diferencia de 100 y la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los tres (03) factores,  $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$ ; valor que se presenta en un rango de 100, como un ICA de excelente calidad a 0, como valor que representa un ICA de pésima calidad. Se expresa en la siguiente ecuación:

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}}$$

Para el desarrollo del cálculo del índice de calidad del agua, se empleó una Hoja de Cálculo, donde se introduce los Datos y las fórmulas matemáticas para la obtención de los factores ( $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$ ) y asimismo el valor del índice de calidad de agua, ICA - PE, es



calculado y como resultado, el valor del índice se presenta como un número adimensional comprendido entre un rango y califican el estado de la calidad del agua, como Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente (Ver tabla 2).

Tabla 2: Interpretación de los índices de calidad ambiental.

ICA-PE	CALIFICACIÓN	INTERPRETACIÓN
90-100	EXCELENTE	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados
75-89	BUENO	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.
45-75	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.
30-44	MALO	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
0-29	PESIMO	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2018.

## 2.12 Software ArcGIS

ARCGIS no es sólo una tecnología para elaborar mapas, sino que es también una infraestructura basada en la nube que posibilita la colaboración y el uso compartido de la información geográfica. Así pues, ARCGIS ha evolucionado desde una única herramienta para el análisis y el procesamiento de datos espaciales a todo un conjunto de aplicaciones relacionadas entre sí destinadas al manejo y el tratamiento de la información geográfica, siendo su característica más reseñable el ser un SIG diseñado para trabajar a nivel multiusuario.

La tecnología ARCGIS está compuesta de una gama escalable de productos software que comparten la misma arquitectura de componentes (ArcObjects) y que permiten crear, administrar, manipular, editar, analizar y distribuir la información geográfica. Cada uno

de los productos está pensado y diseñado para ejecutar cada una de las fases de un proyecto SIG. (Bermejo, 2014)

Entre todas estas herramientas encontramos funcionalidades que permiten:

- Crear datos geográficos con digitalización asistida.
- Dibujar y editar entidades en un mapa.
- Trabajar con dispositivos móviles actualizando los datos en tiempo real.
- Sintetizar datos de diferentes fuentes.
- Almacenar la información en una base de datos geográficos.
- Realizar operaciones de análisis espacial.
- Diseñar y calcular redes.
- Automatizar geo-procesos.
- Crear visualizaciones de propiedades espaciales en 2D y 3D.
- Maquetar mapas y controlar la salida de datos.

## CAPITULO III

### 3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna Tinquicocha para las épocas húmeda y seca del 2018 y húmeda del 2019

##### 3.1.1 *Tipo de investigación*

La investigación planeada es del tipo no experimental-descriptivo, este tipo de investigación permitirá evaluar las condiciones fisicoquímicas de las aguas superficiales de la laguna Tinquicocha.

##### 3.1.2 *Población*

Las aguas superficiales de la laguna Tinquicocha, que comprende de un área de 731951 m<sup>2</sup>, volumen de 23 295 994 m<sup>3</sup> y una profundidad de 61.9m.

##### 3.1.3 *Muestra*

El número de muestras que se ha considerado en la presente investigación, se basaron principalmente en disposiciones emitidas por la ANA a través de la Resolución Directoral para su cumplimiento por parte de la Compañía Minera que cuenta con un vertimiento en el área en estudio. Tales disposiciones son de aplicación específica para este caso de estudio y que han sido tomados como referencia.

Los requerimientos en cuanto al número de muestras de orden cuantitativo se determinaron según los siguientes considerandos:

DOCUMENTO: Resolución Directoral N° 177-2013-ANA-DGCRH

EMPRESA: Compañía Minera RAURA S.A.

VERTIENTE: Laguna Tinquicocha

PERIODECIDAD DE LA MUESTRA:

«Para la realización del monitoreo se deberá tomar en cuenta lo establecido en el “Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos baturales de Agua Superficial” aprobado mediante Resolución Jefatural N°182-2011-ANA. La frecuencia del control deberá ser mensual y el reporte a la Autoridad Nacional del Agua deberá ser trimestral...» (*Resolución Directoral N° 177-2013-ANA-DGCRH. Pág. 2.*)

#### INTERPRETACIÓN MATEMÁTICA:

##### **Aplicación general:**

Corresponde a la aplicación del documento como tal:

$$N = A \times 12m$$

N: Número de muestras

A: Año calendario

m: Mes

Lo que implica 12 muestras por año.

##### **Aplicación de campo:**

Se considera como regla de la aplicación general «**una muestra por mes**», agrupadas según las temporadas climáticas de la zona. El Senamhi establece la existencia de dos temporadas bien marcadas: una estación húmeda de diciembre a marzo y otra seca; las que según el portal web *adondeycuando.es* respecto al tiempo y clima de Huánuco precisa:

- Los meses más fríos son junio, julio, agosto y septiembre
- Los meses más lluviosos son enero, febrero, marzo y diciembre

Por lo que, los periodos a considerar son: época húmeda (diciembre a marzo) y época seca (abril a noviembre). Quedando el número de muestras de la siguiente manera:

$$N = H(4m) + S(8m)$$

N: Número de muestras

H: Época Húmeda

S: Época Seca

m: Mes

#### Aplicación en la investigación:

Requiriéndose un parámetro mínimo de comparación sugerido por la dictaminadora del plan de investigación de tesis, se consideró agregar una temporada climática subsecuente a las definidas en la fórmula anterior; es decir, una época húmeda, quedando la siguiente fórmula:

$$N = 2H(4m) + S(8m)$$

N: Número de muestras

H: Época Húmeda

S: Época Seca

m: Mes

Resolviendo:

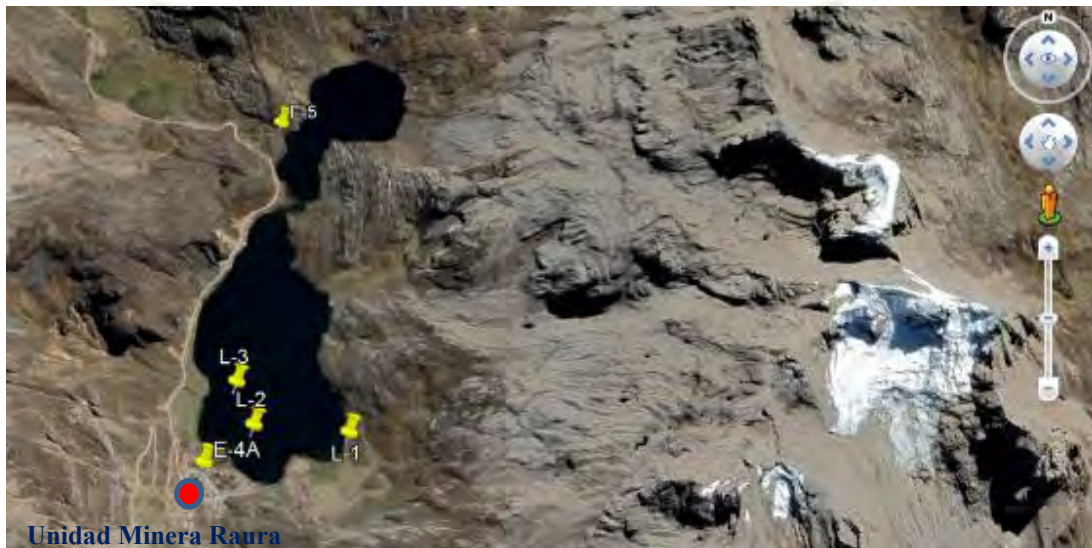
$$N = 2(4) + 1(8)$$

$$N = 8 + 8$$

$$N = 16$$

Siendo el número de muestras igual a 16, con una época comparativa y que corresponden a las aplicadas al presente estudio.

Se tomaron cinco estaciones de monitoreo, durante doce meses en el año 2018 y cuatro meses en el año 2019, sobre las aguas superficiales de la laguna Tinquicocha, durante los meses de diciembre, enero febrero, marzo y abril para el periodo húmedo, y los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre para el periodo seco, los cuales con los siguientes:



*Figura 3:* Ubicación de las estaciones monitoreo, Google Earth.

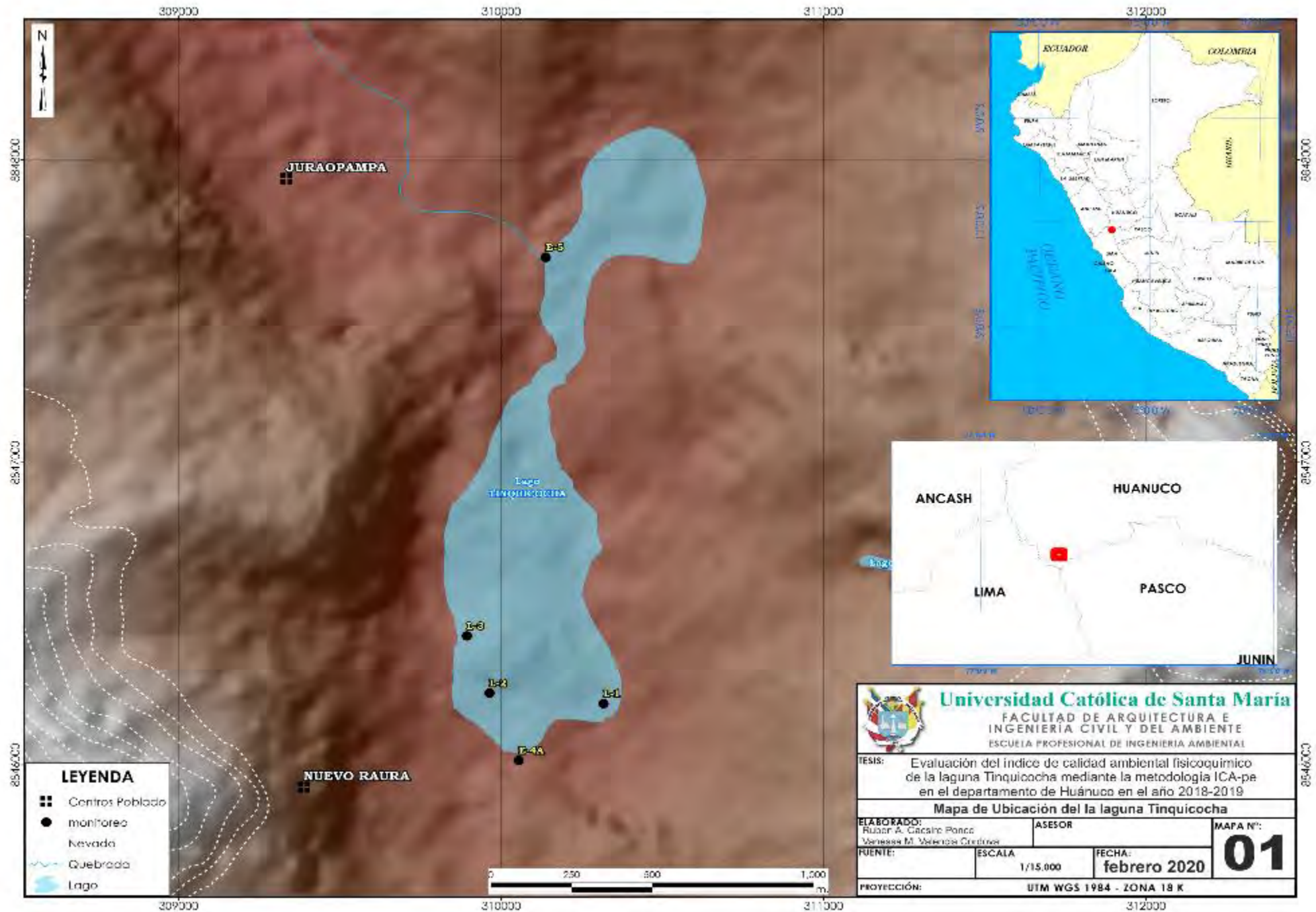


Tabla 3: Descripción de las estaciones de monitoreo.

Estación de muestreo	Ubicación geográfica UTM WGS 84	Descripción
L-1	8846202N 0310318E	Al lado sur del vertimiento de los efluentes, sobre la laguna Tinquicocha.
L-2	8846237N 0309964E	Al centro del vertimiento de los efluentes, sobre la laguna Tinquicocha.
L-3	8846426N 0309894E	Al norte del vertimiento de los efluentes, sobre la laguna Tinquicocha.
E-5	8847735N 0310041E	Rebose de la laguna Tinquicocha.
E-4A	8846462N 0310003E	A 50m de descarga de las aguas de mina tratadas.

Fuente: Elaboración propia.

La única vertiente puntual existente, es la descarga de agua de mina tratada, que es el punto que se encuentra más cercano la estación de monitoreo E-4A, como un cuerpo léntico, los demás vertimientos que ingresan a la laguna son de fuentes naturales, que generalmente provienen de agua de lluvias estacionales por lo que en algunas estaciones estas se encuentran secas, además no existe actividad antropogénica o actividad significativa que pueda influir en la laguna.

### **3.1.4 Muestreo de aguas superficiales**

Se realizó el muestreo de las aguas superficiales de la laguna Tinquicocha, según lo indicado en el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, emitido por la Autoridad Nacional de Agua mediante Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

Estos parámetros fueron analizados en un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).



### ***3.1.5 Procedimiento de medición de parámetros de campo***

- Antes de salir a campo, se hizo la verificación del estado, funcionamiento y calibración de cada uno de los equipos que van a utilizar, estos estuvieron totalmente limpios, completos, en buenas condiciones y funcionaron óptimamente.
- Para los parámetros pH, conductividad, se llevó a campo dos juegos vigentes de patrones, uno para verificar y otro para el ajuste.
- Se retiró mediante una jarra una muestra de agua de la laguna Tinquicocha, se introdujo las sondas de pH, conductividad y oxígeno disuelto en la jarra, y se tomó las medidas registradas por el equipo multiparámetro, el procedimiento se realizó más de una segunda vez.

### ***3.1.6 Procedimiento de monitoreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos***

- Antes de iniciar el muestreo se colocó el guardapolvo, la mascarilla (nariz y boca), lentes de seguridad y guantes, esto para prevenir que se contamine agua que se muestreo o que le salpique algún tipo de preservante.
- Se ubicó el punto de muestreo y acondicionó el área de trabajo.
- Los frascos, materiales y equipos para muestreo estuvieron en buen estado, limpios y exentos de contaminación.
- Se colocaron los geles o hielo (refrigerantes) dentro de las cajas térmicas (coolers).
- Seguidamente se tomaron las muestras para los análisis de compuestos orgánicos, comenzando por el de aceites y grasas. Se taparon las muestras inmediatamente.
- Para los parámetros fisicoquímicos se realizó el enjuague de los envases con el agua a muestrear, de dos a tres veces antes de tomar la muestra.

- Los recipientes de los demás parámetros se llenaron completamente, luego se realizó el vertido de los preservantes.
- Se llenaron por completo los recipientes de muestras de DBO, asimismo se aseguró que estas no tengan burbujas en su interior.
- Se rotularon las muestras, y luego fueron conservadas de acuerdo con lo indicado para los análisis que se van a realizar en laboratorio.
- Estas fueron colocadas en cajas térmicas (coolers), en posición vertical, con sus respectivos geles refrigerantes, a una temperatura aproximada de 4°C. se aseguró que las muestras se congelen bajo ninguna circunstancia.
- Se registraron las muestras tomadas en el formato en la cadena de custodia para Monitoreo de Aguas y los datos de campo (como descripciones, coordenadas, datos de mediciones in situ, observaciones, entre otros).
- Se aseguró la integridad de los recipientes durante su transporte al laboratorio, se colocó entre ellos material de empaque limpio (plástico preformado para relleno).
- Una vez que haya empacado y refrigerado las muestras, se cerraron las cajas térmicas (coolers), fueron embaladas con plastifilm y transportadas en el menor tiempo posible al laboratorio con su correspondiente Cadena de Custodia. Además, se consignaron los datos con la dirección del Laboratorio, el lugar de origen, el remitente y el consignatario, las cajas térmicas (coolers) estuvieron debidamente etiquetados en la posición correcta en que deben ser transportados.

### ***3.1.7 Materiales Y Equipos***

#### ***3.1.7.1 Equipos***

- 01 multiparámetros WTW calibrado, para analizar los parámetros de campo como son pH, conductividad y oxígeno disuelto.

- 01 termómetro calibrado.
- 01 sistema de posicionamiento global (GPS)

#### 3.1.7.2 *Materiales*

- 20 frascos de plástico y vidrio para las muestras de agua.
- 02 preservantes para los parámetros que requieran.
- 03 envases térmicos (Coolers).
- 25 Ice pack, para mantener la temperatura adecuada dentro de los envases térmicos.
- 01 cámara fotográfica.
- 01 pizarra y plumón.
- 01 marcador indeleble y cinta de embalaje.

#### 3.1.7.3 *Software*

- Microsoft Office 2016 (Excel y Word).
- ARCGIS versión 10.3

#### 3.1.8 *Instrumentos de recolección de datos*

Se utilizó la data de los monitoreos de las cinco estaciones de monitoreo propuestas en dicho proyecto, correspondientes a la época seca y húmeda del año 2018 época húmeda del año 2019, proporcionada por el laboratorio acreditado y los equipos (multiparámetros) debidamente calibrados y certificados.

#### 3.2 **Determinación de índices de calidad ambiental (ICA-PE)**

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.

Los parámetros utilizados en la evaluación de los índices de calidad ambiental son los siguientes (Ver tabla 3):

Tabla 4: *Parámetros a evaluar en el ICA-PE.*

N°	PARAMETROS	UNIDADES
1	pH	pH
2	Conductividad	μS/cm
3	OD	mg/L
4	DBO <sub>5</sub>	mg/L
5	Aluminio	mg/L
6	Arsénico	mg/L
7	Boro	mg/L
8	Cadmio	mg/L
9	Cobre	mg/L
10	Hierro	mg/L
11	Manganeso	mg/L
12	Mercurio	mg/L
13	Plomo	mg/L
14	Zinc	mg/L

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2018.

Los parámetros considerados en la presente investigación según el protocolo de monitoreo de agua (ver Tabla 4) son los más representativos para evaluar la calidad del agua de “Categoría 3 – Riego de vegetales y bebida de animales”. Dentro de estos parámetros contamos con algunos de los más importantes que son altamente influyentes e incidentes en cambios y/o alteraciones al ambiente de manera directa tales como el Mercurio, el Aluminio, el Plomo, entre otros. Estos parámetros fisicoquímicos son determinantes a la hora de evaluar la calidad de un cuerpo ambiental en este caso un cuerpo lenticó, tal como lo es la Laguna Tinquicocha.

Este indicador de calidad del agua, aplicado durante un periodo de tiempo evaluó la incidencia de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que son considerados, y que mediante una herramienta matemática nos permitió transformar grandes cantidades de datos (concentraciones de los parámetros en estudio) a una escala de medición única, expresado en porcentaje. Siendo un valor ICA cercano a 0%, el cual representa la alta afectación que existe en la calidad del agua de ese punto de monitoreo, en tanto que presente excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100%.

### ***3.2.1 Determinación del ICA-PE para un monitoreo***

- La actividad de monitoreo fue una herramienta de gran importancia por la información que como resultado se obtuvo, el estado de las características físicas, químicas que se presentaron en una determinada época del año. Por eso el ICA-PE para un solo monitoreo fue factible, ya que este fue presentado como un indicador puntual, tanto en espacio y tiempo utilizando la red de puntos de monitoreo y la fecha de realización de monitoreo.
- Para la presentación de los resultados de la evaluación de calidad de la calidad del agua en una determinada fecha se hizo uso del ICA-PE, con valores que representan de una forma resumida el resultado de la calidad del agua, además, la difusión de los resultados que se exponen es favorable para todos aquellos que presenten interés y hacerlo mediante el ICA que favoreció la comprensión y toma de decisiones.
- Para el cálculo del ICA para un monitoreo, se siguieron los pasos descritos anteriormente, los cuales describen la data que se necesitó para el cálculo de cada factor (F1, F2 y F3) y asimismo el valor del índice de calidad de agua (ICA-PE). También se introdujo los datos y las fórmulas matemáticas en una hoja de cálculo (Excel).

- Se aplicó para la data completa correspondiente a un monitoreo:

$$F1=F2$$

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA – Agua}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}}$$

$$F2 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA – Agua de los Datos Eevaaluados}}{\text{Número total de datos evaluados}}$$

$$F3 = \frac{\text{Suma normalizada de excedentes}}{\text{Suma normalizada de excedentes} + 1} \times 100$$

### 3.2.2 *Cálculo del índice de calidad del agua*

- Esta fue dada por la raíz cuadrada del promedio de la suma de cuadrados de los tres factores F1, F2 y F3.

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}}$$

Los resultados obtenidos para el índice hallado se representaron como un número adimensional entre 1 – 100, el cual nos permitió ubicar el valor entre los cinco rangos presentados anteriormente en la “Tabla 2: Interpretación de los índices de calidad ambiental.”, que se expresaron y calificaron el estado de la calidad del agua como pésimo, malo, regular, bueno y excelente.

### 3.2.3 *Hoja de cálculo*

- A través de la creación de un macro en Excel, se automatizó todo el proceso de cálculo para las fórmulas matemáticas y obtención del índice ICA-PE, se realizó el cálculo de excedentes y completando la suma normalizada de todos los excedentes que se presentaron en la data completa proveniente de los monitoreos.
- Se realizó el ingreso de la data que consta de los puntos de monitoreo, resultados de los monitoreos (presentados por el laboratorio acreditado) y los valores

establecidos en los ECA – agua, con los cuales se dio la evaluación de cada parámetro.

PUNTOS DE MONITOREO			E-4A				L - 1					
Parámetros a Evaluar-CCME-WQI	Unid.	ECA		ENE	FER	MAR	ABR	ENE	FER	MAR	ABR	
		Cat. 3-D2										
Parámetros Físico-Químicos	pH	pH	6.5	8.4	7.89	7.8	8.53	8	8.52	8.52	7.96	8.24
	Conductividad	µS/cm	5000		947	939	939	1021	692	528	671	523
	OD	mg/L	≥5		6.49	5.91	6.7	7.04	9.8	6.81	2.9	8.63
	DBO <sub>5</sub>	mg/L	15						2	13	< 2	< 2
Parámetros inorgánicos	Aluminio	mg/L	5		0.01	< 0.002	0.094	0.098	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.029
	Arsénico	mg/L	0.2		0.0538	0.05252	0.05191	0.05167	0.03725	0.0251	0.026	0.02729
	Boro	mg/L	5		0.134	0.137	0.107	0.117	0.075	0.039	0.049	0.036
	Cadmio	mg/L	0.05		0.00141	0.00246	0.00409	0.00315	0.00046	0.00038	0.00031	0.00031
	Cobre	mg/L	0.5		0.00368	0.00589	0.07447	0.06845	0.0032	0.00119	0.00062	0.0022
	Manganeso	mg/L	0.2		0.09282	0.09796	0.22738	0.1932	0.02316	0.0119	0.00886	0.01756
	Mercurio	mg/L	0.01		< 0.00003	< 0.00003	< 0.00003	< 0.00003	< 0.00003	< 0.00003	< 0.00003	< 0.00003
	plomo	mg/L	0.05		0.0068	0.0134	0.0306	0.0202	0.0022	0.0017	0.0013	0.0025
Zinc	mg/L	24		0.5427	0.8576	1.4780	1.1300	0.1409	0.197	0.171	0.131	
DATOS	Número de parámetros que no cumplen			2				2				
	Número total de parámetros a evaluar			13				13				
	Número de datos que no cumplen el ECA			2				2				
	Número total de datos			48				52				

Figura 4: Ingreso de datos correspondientes a los monitoreos realizados.

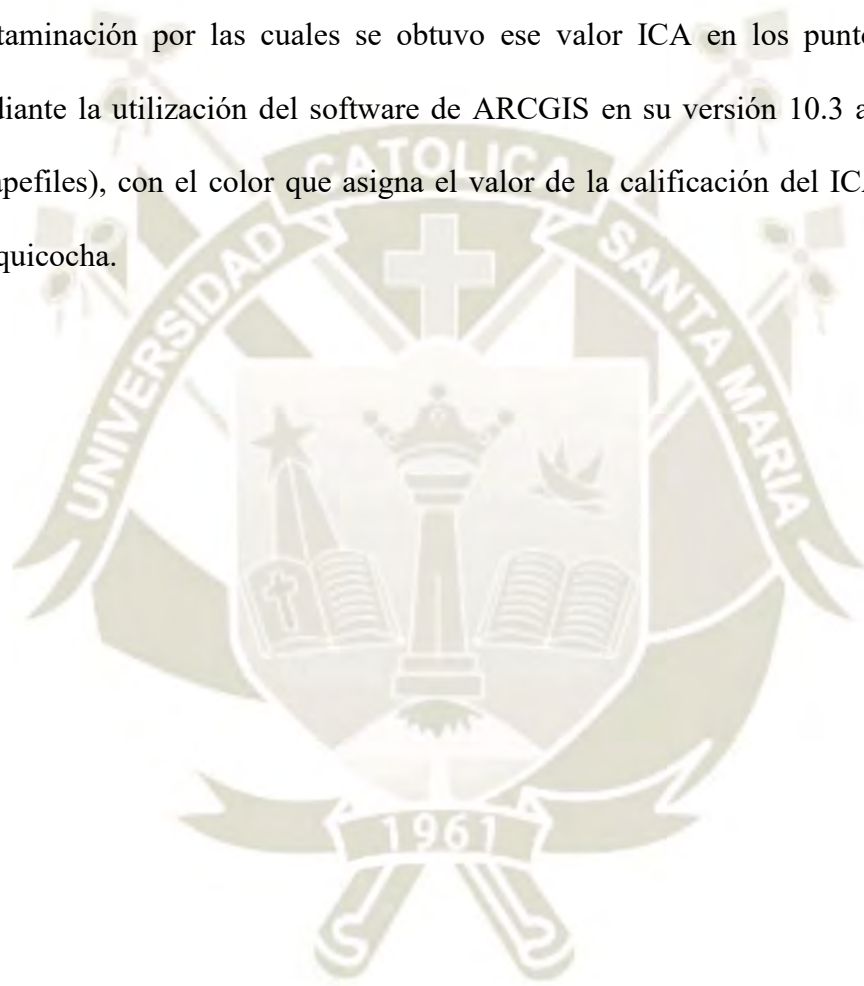
- Seguidamente se realizó el cálculo de los factores (F1, F2 y F3) en los cuadros de la hoja de Excel que contienen el macro de ecuaciones y condiciones, los cuales presentaron resultados cuantitativos y cualitativos como se puede observar en la siguiente figura.

CÁLCULOS DE LOS FACTORES DEL ICA-PE EXCEDENTES DE CADA PARÁMETRO EN CADA MONITOREO	F1		15.38461538				23.07692308			
	F2		3.846153846				7.692307692			
pH	pH		-0.01408451					-0.03337169		-0.02439024
Conductividad	µS/cm									
OD	mg/L			0.72413793					0.78571429	
DBO <sub>5</sub>	mg/L									
Aluminio	mg/L									
Arsénico	mg/L									
Boro	mg/L									
Cadmio	mg/L									
Cobre	mg/L									
Manganeso	mg/L									
Mercurio	mg/L									
plomo	mg/L								0.628	
Zinc	mg/L									
Sumatoria de los excedentes			0.013654874				0.026076007			
F3			1.34709297				2.541332861			
ICA-CCME			90.8113485				85.87939627			
			EXCELENTE				BUENO			

Figura 5: Calculo de excedentes de cada parámetro, factores y valor del ICA.

### **3.3 Elaboración de mapa de evaluación de los índices de calidad ambiental fisicoquímico de las estaciones de monitoreo sobre la laguna Tinquicocha**

Los resultados del ICA para cada punto de monitoreo, fueron representados y ubicados según coordenadas en un mapa, pudiendo visualizar el ámbito y todos los aspectos a considerar cuando se realiza el análisis del resultado, es decir, las probables fuentes de contaminación por las cuales se obtuvo ese valor ICA en los puntos de monitoreo mediante la utilización del software de ARCGIS en su versión 10.3 a través de capas (shapefiles), con el color que asigna el valor de la calificación del ICA para la laguna Tinquicocha.





## CAPITULO IV

### 4 Análisis y discusión de resultados

Cabe resaltar, que la única vertiente puntual existente, es la descarga de agua de mina tratada, que es el punto que se encuentra más cercano la estación de monitoreo E-4A, como un cuerpo léntico, los demás vertimientos que ingresan a la laguna son de fuentes naturales, que generalmente provienen de agua de lluvias estacionales por lo que en algunas estaciones estas se encuentran secas, además no existe actividad antropogénica o actividad significativa que pueda influir en la calidad del agua de la laguna Tinquicocha. A continuación, se muestran las evaluaciones de los resultados de los monitoreos de los parámetros fisicoquímicos en la laguna Tinquicocha.

#### 4.1 Caudal

Se presenta en la figura 6 y la tabla 5 los caudales del vertimiento sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 5: *Caudal de vertimiento*

<b>CAUDAL VERTIMIENTO (L/S)</b>		
<b>2018</b>	<b>ENERO</b>	145.0
	<b>FEBRERO</b>	144.0
	<b>MARZO</b>	136.0
	<b>ABRIL</b>	143.7
	<b>MAYO</b>	140.0
	<b>JUNIO</b>	149.6
	<b>JULIO</b>	118.9
	<b>AGOSTO</b>	124.8
	<b>SETIEMBRE</b>	123.0
	<b>OCTUBRE</b>	95.1
	<b>NOVIEMBRE</b>	121.5
	<b>DICIEMBRE</b>	120.5
<b>2019</b>	<b>ENERO</b>	147.0
	<b>FEBRERO</b>	143.0
	<b>MARZO</b>	132.0
	<b>ABRIL</b>	142.6
<b>Promedio</b>		132.919

Fuente: Elaboración propia.

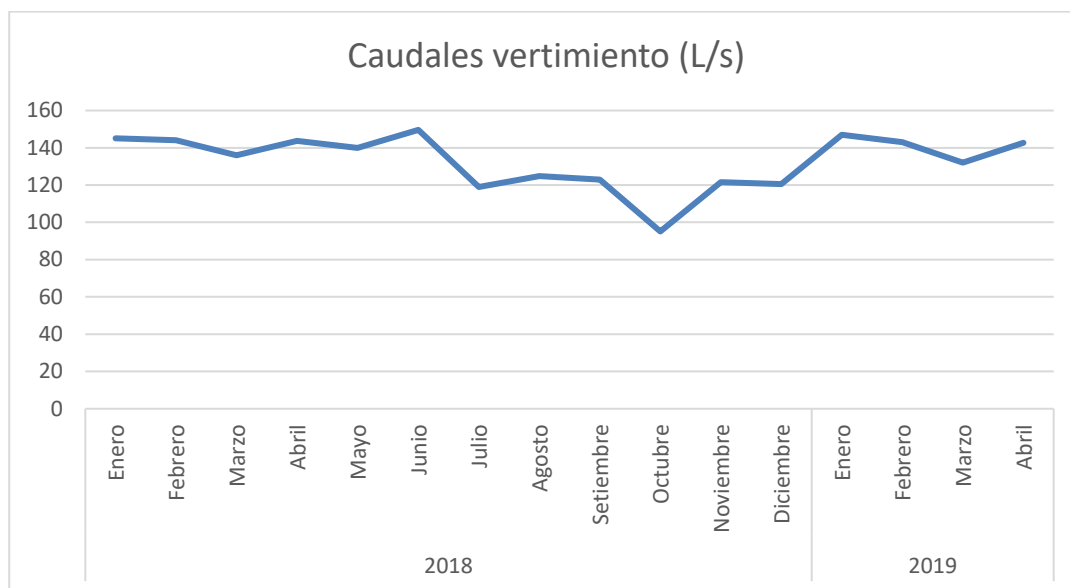


Figura 6: Caudales del vertimiento, elaboración propia.

Como se observa en la figura 6, el caudal se registra en un rango de 95 – 149 L/s. Siendo el valor promedio de 132.9.

## 4.2 Temperatura

Tabla 6: Medición de temperaturas en la laguna Tinquicocha.

		TEMPERATURA				
AÑOS	ESTACIONES	E-4A	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	9.0	15.5	14.5	12.9	11.2
	FEBRERO	8.9	10.5	11.3	10.1	12.2
	MARZO	9.9	10.3	11.8	10.4	10.1
	ABRIL	7.2	9.3	10.2	9.9	10.0
	MAYO	8.3	12.3	10.2	11.3	10.7
	JUNIO	8.5	11.4	11.2	10.7	10.4
	JULIO	8.0	7.9	9.2	9.2	9.4
	AGOSTO	11.0	10.8	10.9	13.0	8.5
	SETIEMBRE	8.7	13.2	12.9	14.4	11.5
	OCTUBRE	8.3	13.5	12.7	14.9	11.1
	NOVIEMBRE	8.5	9.4	9.7	9.1	10.3
	DICIEMBRE	7.7	8.7	9.2	8.4	10.3
2019	ENERO	9.0	10.0	10.5	11.5	10.4
	FEBRERO	7.5	11.9	10.5	10.7	10.8
	MARZO	9.6	11.6	10.5	11.9	11.0
	ABRIL	7.3	10.8	11.2	10.9	10.7

<b>PROMEDIO</b>	8.6	11.1	11.0	11.2	10.5
-----------------	-----	------	------	------	------

Como se observa en la tabla 6, las estaciones de monitoreo oscilan entre en 7.2 y 15.5 °C. Siendo la temperatura máxima en la estación L-1 en enero de 2018 y la mínima en febrero del 2019, para la estación E-4A.

### 4.3 Potencial de hidrogeno

Se presenta en la figura 7 y la tabla 7 las concentraciones del potencial de hidrogeno (pH) sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 7: *Medición de pH en la laguna Tinquicocha.*

<b>POTENCIAL DE HIDRÓGENO</b>						
<b>AÑOS</b>	<b>ESTACIONES</b>	<b>E-4A</b>	<b>L-1</b>	<b>L-2</b>	<b>L-3</b>	<b>E-5</b>
<b>2018</b>	<b>ENERO</b>	7,89	8,52	8,05	8,35	8,15
	<b>FEBRERO</b>	7,8	7,74	8,69	8,02	8,17
	<b>MARZO</b>	8,53	7,96	7,95	8,3	8,02
	<b>ABRIL</b>	8	8,24	8,61	8,17	8,22
	<b>MAYO</b>	7,14	8,93	7,38	8,55	8,15
	<b>JUNIO</b>	7,92	8,51	7,63	8,26	8,24
	<b>JULIO</b>	7,89	8,49	7,91	8,15	8,2
	<b>AGOSTO</b>	7,82	8,17	8,49	9,26	8,47
	<b>SETIEMBRE</b>	8,17	8,89	8,16	8,69	8,5
	<b>OCTUBRE</b>	8,06	8,15	8,31	8,56	8,25
	<b>NOVIEMBRE</b>	7,9	8,27	7,93	8,10	8,13
	<b>DICIEMBRE</b>	7,91	8,49	8,42	8,42	8,33
<b>2019</b>	<b>ENERO</b>	8,23	8,49	8,19	7,9	8,39
	<b>FEBRERO</b>	8,72	8,34	8,28	8,38	8,13
	<b>MARZO</b>	8,3	7,9	8,3	8,45	8,12
	<b>ABRIL</b>	8,46	7,74	8,19	8,26	8,14
<b>PROMEDIO</b>		<b>8,0</b>	<b>8,3</b>	<b>8,1</b>	<b>8,3</b>	<b>8,2</b>
<b>ERROR</b>		<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>
<b>ECA CAT 3 D-2</b>		<b>6,5-8,4</b>	<b>6,5-8,4</b>	<b>6,5-8,4</b>	<b>6,5-8,4</b>	<b>6,5-8,4</b>

Fuente: Elaboración propia.

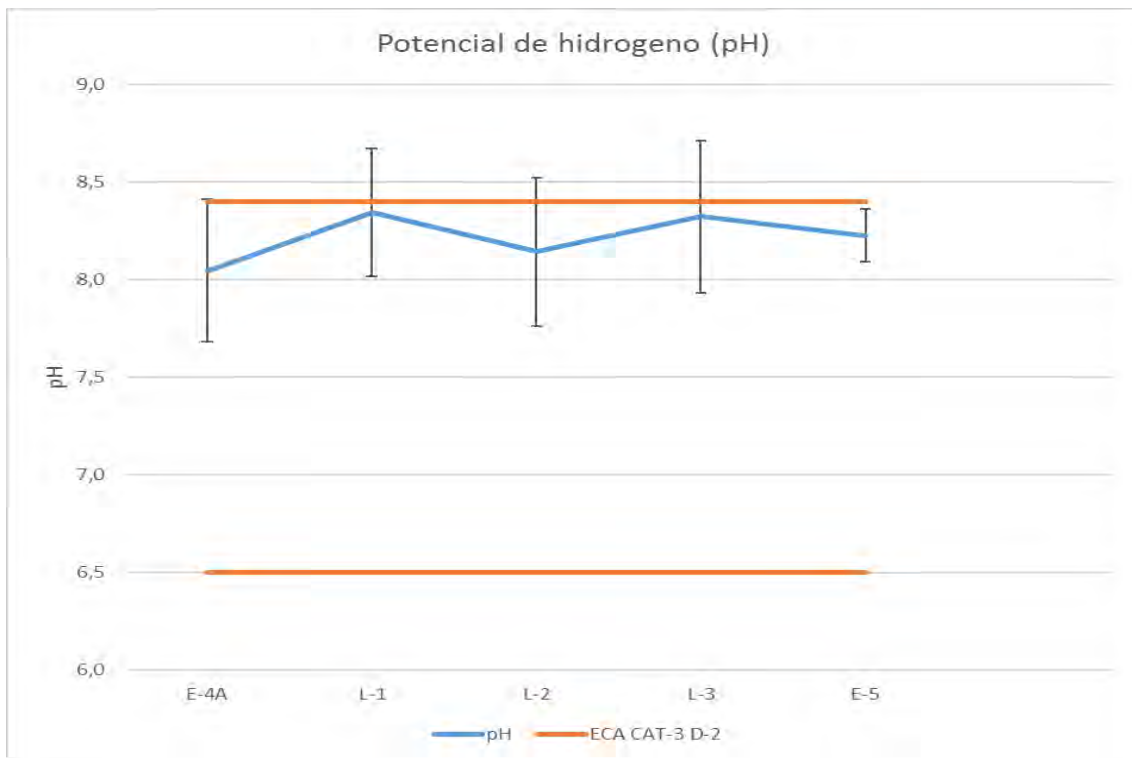


Figura 7: Resultados de la medición potencial de hidrogeno (pH), elaboración propia.

Como se observa en la figura 7, las estaciones de monitoreo E-4A, L-1, L-2, L-3 superan el nivel máximo de pH (8.5), en la estación E-4A en el mes de marzo registra la medición de pH 8.53, la estación L-1 registra mediciones entre 8.51 - 8.93 la mayoría en la época húmeda solo se registra una medición superior de 8.89 en la época seca del año 2018, la estación L-3 registro la mayor medida de pH sobre la laguna Tinquicocha de 9.26 en el mes de agosto temporada de la presencia de helada, donde la temperatura llega a bajar menos de 0°C.

#### 4.4 Conductividad

Se presenta en la figura 8 y la tabla 89 las concentraciones de la conductividad sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 8: Medición de conductividad en la laguna Tinquicocha.

CONDUCTIVIDAD $\mu\text{S/cm}$						
AÑO	ESTACIONES	E-4A	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	947	692	666	623	654
	FEBRERO	939	528	696	536	647
	MARZO	939	671	581	634	672
	ABRIL	1021	523	657	619	663
	MAYO	994	706	748	701	659
	JUNIO	981	724	647	709	663
	JULIO	941	749	532	731	681
	AGOSTO	1003	664	747	710	676
	SETIEMBRE	1008	737	566	666	652
	OCTUBRE	1055	670	684	715	676
	NOVIEMBRE	1043	714	527	5,9	673
	DICIEMBRE	517	391	345	345	346
2019	ENERO	1027	656	569	486	639
	FEBRERO	876	567	613	497	608
	MARZO	980	310	299	296	612
	ABRIL	870	320	530	560	612
<b>PROMEDIO</b>		<b>946,3</b>	<b>601,4</b>	<b>587,9</b>	<b>552,1</b>	<b>633,3</b>
<b>ERROR</b>		<b>126,5</b>	<b>147,1</b>	<b>126,6</b>	<b>195,6</b>	<b>80,2</b>
<b>ECA CAT-3 D-2</b>		<b>5000</b>	<b>5000</b>	<b>5000</b>	<b>5000</b>	<b>5000</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura 8, la conductividad en todas las estaciones de monitoreo se encuentra debajo de lo indicado por los estándares calidad ambiental para la categoría 3 subcategoría D2 agua de bebida de animales el cual es 5000  $\mu\text{S/cm}$ , registrado en los años 2018 y 2019.

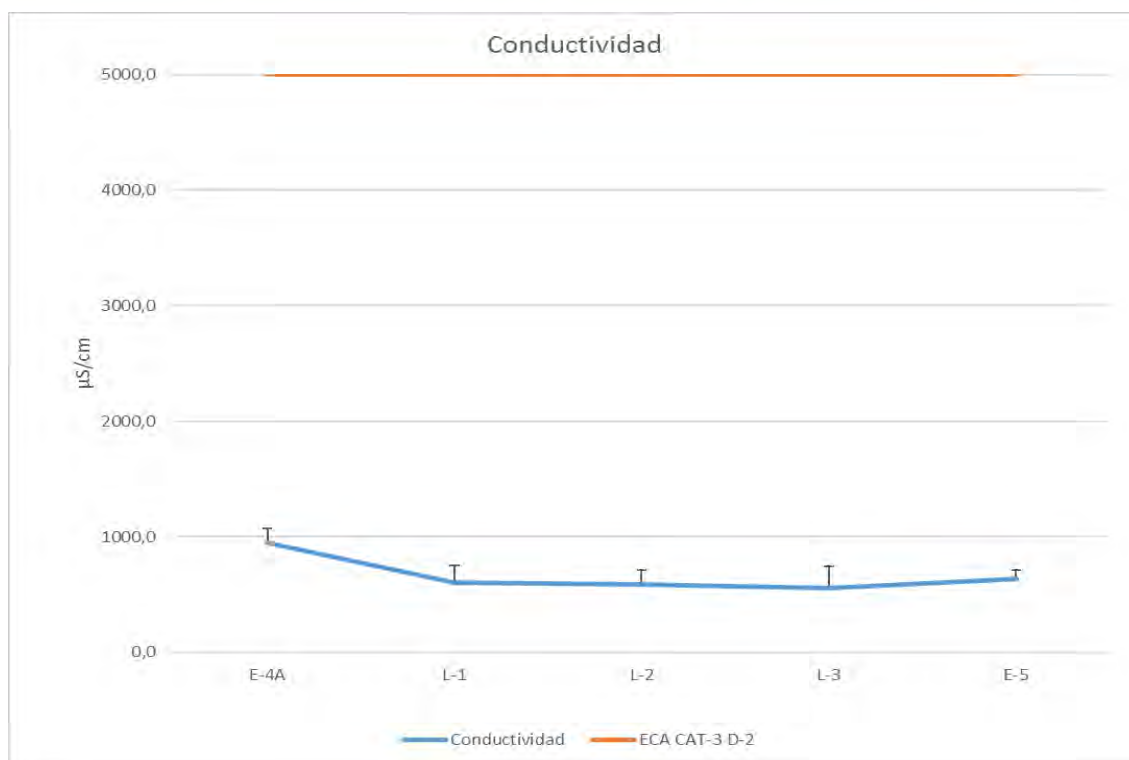


Figura 8: Resultados de la medición de conductividad, elaboración propia.

#### 4.5 Oxígeno disuelto

Se presenta en la figura 9 y la tabla 9 las concentraciones del oxígeno disuelto sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 9: Mediciones de oxígeno disuelto en la laguna Tinquicocha.

		OXÍGENO DISUELTO mg/l				
AÑO	ESTACIONES	E-4A	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	6,49	9,8	9,7	9,77	6,42
	FEBRERO	5,91	6,81	7,58	5,62	6,81
	MARZO	6,7	2,9	2,8	2,74	2,8
	ABRIL	7,04	8,63	8,97	7,01	6,85
	MAYO	6,81	9,07	8,33	7,08	7,19
	JUNIO	5,84	6,38	7,1	6,1	7,08
	JULIO	6,12	6,1	6,81	5,81	6,41
	AGOSTO	5,27	6,76	5,97	7,69	5,57
	SETIEMBRE	5,32	6,88	6,33	9,77	5,66
	OCTUBRE	5,42	7,31	5,89	6,96	5,71
	NOVIEMBRE	5,38	6,2	7,33	5,9	5,27

	<b>DICIEMBRE</b>	6,09	7,4	7,55	7,55	7,09
<b>2019</b>	<b>ENERO</b>	6,82	7,31	6,7	6,59	6,86
	<b>FEBRERO</b>	7,23	8,32	6,89	7,18	6,83
	<b>MARZO</b>	6,8	5,89	6,75	6,66	6,72
	<b>ABRIL</b>	7,21	7,07	6,8	6,66	6,99
	<b>PROMEDIO</b>	<b>6,3</b>	<b>7,1</b>	<b>6,8</b>	<b>7,0</b>	<b>6,3</b>
	<b>ERROR</b>	<b>0,7</b>	<b>1,6</b>	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>
	<b>ECA CAT-3 D-2</b>	<b>≥5,0</b>	<b>≥5,0</b>	<b>≥5,0</b>	<b>≥5,0</b>	<b>≥5,0</b>

Fuente: Elaboración propia.

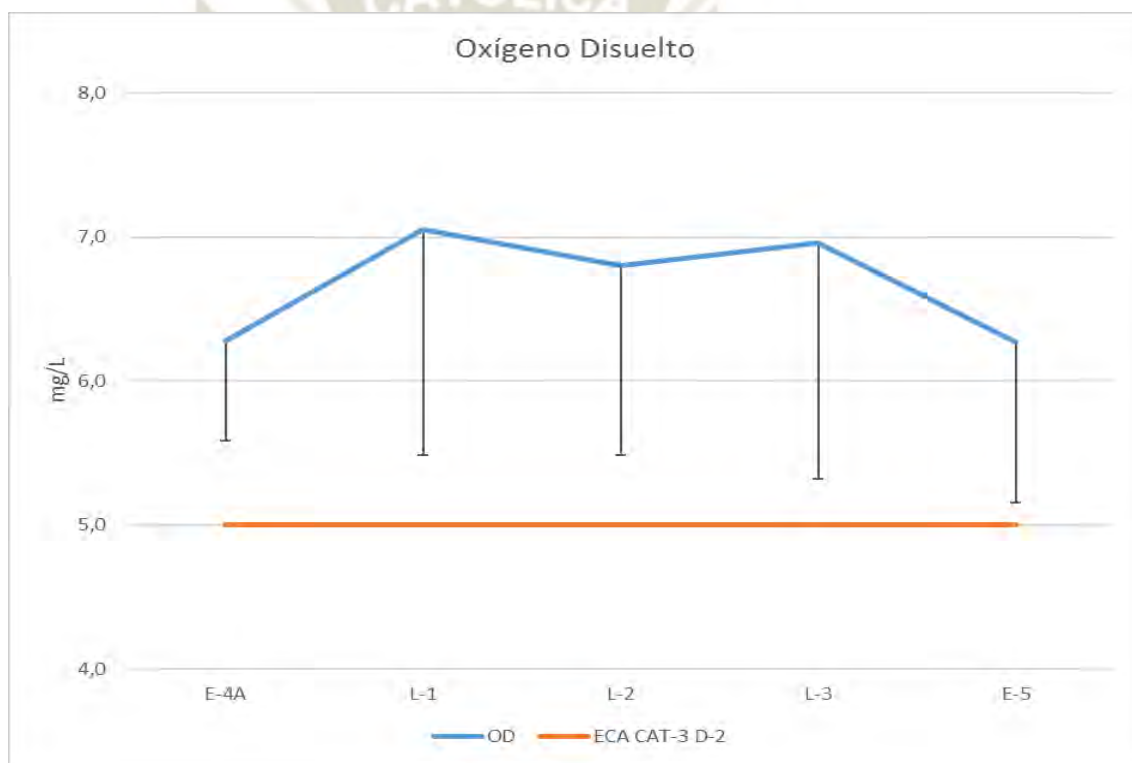


Figura 9: Resultados de la medición de oxígeno disuelto, elaboración propia.

En la figura 9, las mediciones de oxígeno disuelto que se registró en los años 2018 y 2019, sobrepasan los estándares de calidad ambiental de agua para categoría 3 subcategoría D-2 el cual es  $\geq 5,0$  mg/l, en la tabla 7 en el mes de marzo del año 2018 se registró una disminución del oxígeno disuelto en las estaciones L-1, L-2, L-3 E-5 con 2.9,

2.8, 2.74 y 2.8 mg/l respectivamente, esto debido a la presencia de algas en dichas estaciones de monitoreo.

#### 4.6 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Se presenta en la figura 10 y la tabla 10 las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 10: Concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la laguna Tinquicocha.

		DBO <sub>5</sub> mg/l				
AÑO	ESTACIONES	E-4A	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	-	<2	2	<2	<2
	FEBRERO	-	13	<2	<2	<2
	MARZO	-	<2	<2	<2	<2
	ABRIL	-	<2	<2	<2	<2
	MAYO	-	<2	<2	<2	<2
	JUNIO	-	<2	<2	<2	<2
	JULIO	-	<2	<2	<2	<2
	AGOSTO	-	<2	<2	<2	<2
	SETIEMBRE	-	<2	<2	<2	<2
	OCTUBRE	-	<2	<2	<2	<2
	NOVIEMBRE	-	<2	<2	<2	<2
	DICIEMBRE	-	<2	<2	<2	<2
2019	ENERO	-	<2	<2	<2	<2
	FEBRERO	-	<2	<2	<2	<2
	MARZO	-	<2	<2	<2	<2
	ABRIL	-	<2	<2	<2	<2
<b>PROMEDIO</b>		-	<b>2,7</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>
<b>ERROR</b>		-	<b>2,8</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<b>ECA CAT-3 D-2</b>		<b>15,0</b>	<b>15,0</b>	<b>15,0</b>	<b>15,0</b>	<b>15,0</b>

Fuente: Elaboración propia.

La en la tabla 10, se observa en la estación L-1 en el mes de febrero del año 2018 registró una concentración de 13 mg/l, esta no sobre pasa los estándares de calidad ambiental, se pueden indicar la presencia de materia orgánica en dicha estación, las demás estaciones se encuentran por debajo de lo establecido por la normativa ambiental.



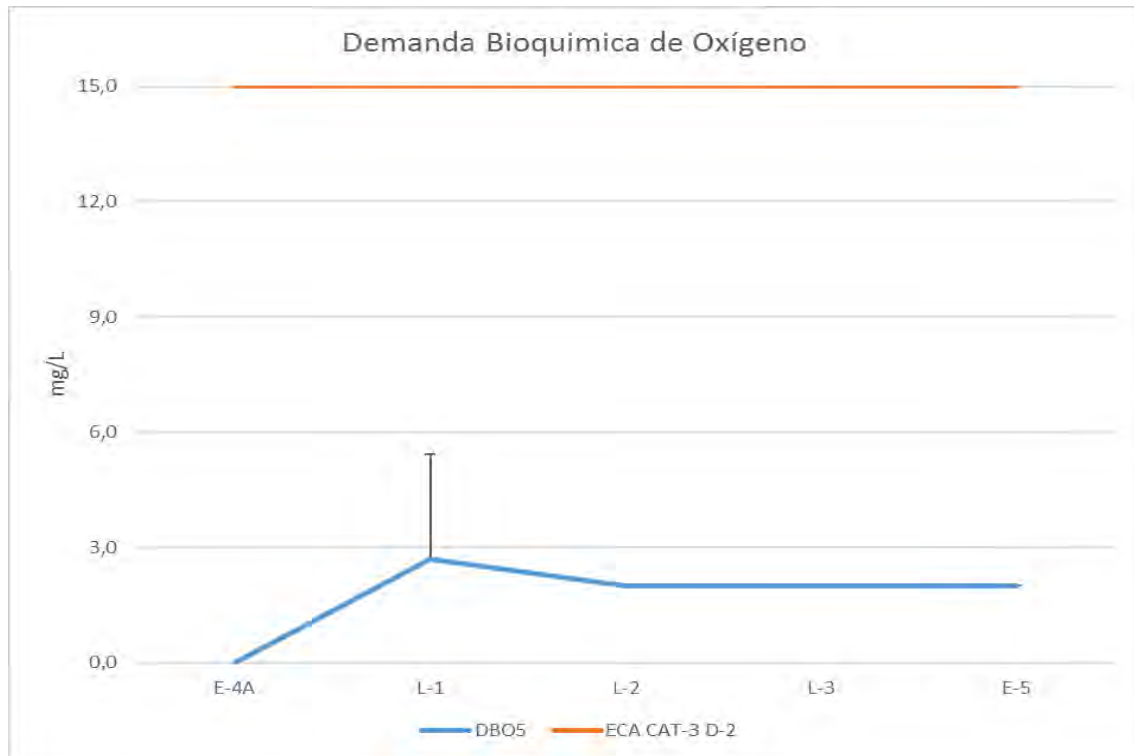


Figura 10: Resultados de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, elaboración propia.

#### 4.7 Aluminio

Se presenta en la figura 11 y la tabla 11 las concentraciones de aluminio sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 11: Concentración del aluminio en la laguna Tinquicocha.

		ALUMINIO mg/l				
AÑOS	ESTACIONES	E-4A	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	0,01	<0,002	0,067	0,02	<0,002
	FEBRERO	0,002	0,002	0,039	0,002	0,002
	MARZO	0,094	0,002	0,294	0,028	0,002
	ABRIL	0,098	0,029	0,012	0,013	0,002
	MAYO	0,013	0,051	0,002	0,007	0,002
	JUNIO	0,002	0,183	0,015	0,04	0,002
	JULIO	0,002	0,145	0,041	0,04	0,002
	AGOSTO	0,017	0,024	0,009	0,094	0,013
	SETIEMBRE	0,002	0,018	0,002	0,012	0,002
	OCTUBRE	0,002	0,014	0,042	0,047	0,002
	NOVIEMBRE	0,014	0,014	0,018	0,092	0,002

	<b>DICIEMBRE</b>	0,009	0,007	0,126	0,014	0,004
<b>2019</b>	<b>ENERO</b>	0,358	0,021	0,421	0,155	0,002
	<b>FEBRERO</b>	0,153	0,002	0,031	0,031	0,002
	<b>MARZO</b>	0,104	0,041	0,05	0,076	0,011
	<b>ABRIL</b>	0,063	0,002	0,029	0,051	0,008
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,059</b>	<b>0,035</b>	<b>0,075</b>	<b>0,045</b>	<b>0,004</b>
	<b>ERROR</b>	<b>0,093</b>	<b>0,053</b>	<b>0,117</b>	<b>0,041</b>	<b>0,004</b>
	<b>ECA CAT-3 D-2</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>

Fuente: Elaboración propia.

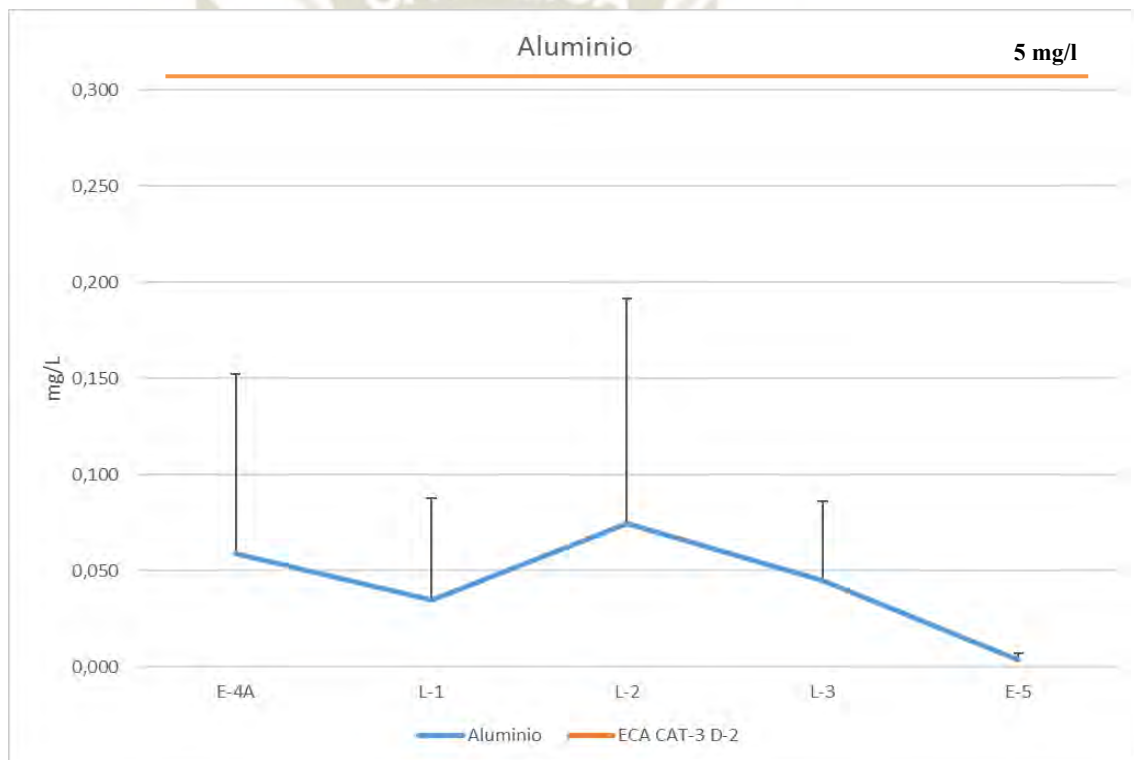


Figura 7: Resultados de las concentraciones del aluminio, elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 11 la concentración del aluminio se encuentra por debajo de lo establecido por los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3 subcategoría D-2 agua para bebida de animales 5 mg/l en los dos años de evaluación 2018 y 2019.

#### 4.8 Arsénico

Se presenta en la figura 12 y la tabla 12 las concentraciones de arsénico sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 62: *Concentración de arsénico en la laguna Tinquicocha.*

		ARSÉNICO mg/l				
AÑO	ESTACIONES	E-4 <sup>a</sup>	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	0,0538	0,03725	0,01884	0,03688	0,02678
	FEBRERO	0,05252	0,0251	0,0327	0,0197	0,0254
	MARZO	0,05191	0,026	0,03272	0,03321	0,02721
	ABRIL	0,05167	0,02729	0,0294	0,0244	0,02507
	MAYO	0,0559	0,03821	0,02983	0,03048	0,02593
	JUNIO	0,05985	0,04481	0,02784	0,03146	0,02608
	JULIO	0,05762	0,04053	0,02466	0,03403	0,02584
	AGOSTO	0,06018	0,03091	0,0334	0,04922	0,02691
	SETIEMBRE	0,05804	0,03392	0,03166	0,03376	0,02595
	OCTUBRE	0,05947	0,03333	0,03124	0,03851	0,0261
	NOVIEMBRE	0,05627	0,03229	0,03401	0,04295	0,0261
	DICIEMBRE	0,05227	0,03249	0,0848	0,03026	0,02434
2019	ENERO	0,05154	0,02995	0,03396	0,03032	0,02632
	FEBRERO	0,05177	0,029	0,02795	0,0299	0,02413
	MARZO	0,04191	0,03189	0,0355	0,03731	0,02536
	ABRIL	0,04988	0,01518	0,02233	0,02666	0,02304
<b>PROMEDIO</b>		<b>0,054</b>	<b>0,032</b>	<b>0,033</b>	<b>0,033</b>	<b>0,026</b>
<b>ERROR</b>		<b>0,005</b>	<b>0,007</b>	<b>0,015</b>	<b>0,007</b>	<b>0,001</b>
<b>ECA CAT-3 D-2</b>		<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>

Fuente: Elaboración propia.

La figura 12 muestra que la concentración de arsénico evaluado en los años 2018 y 2019 en la laguna de Tinquicocha se encuentra por debajo de lo establecido en los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales 0.2 mg/l.

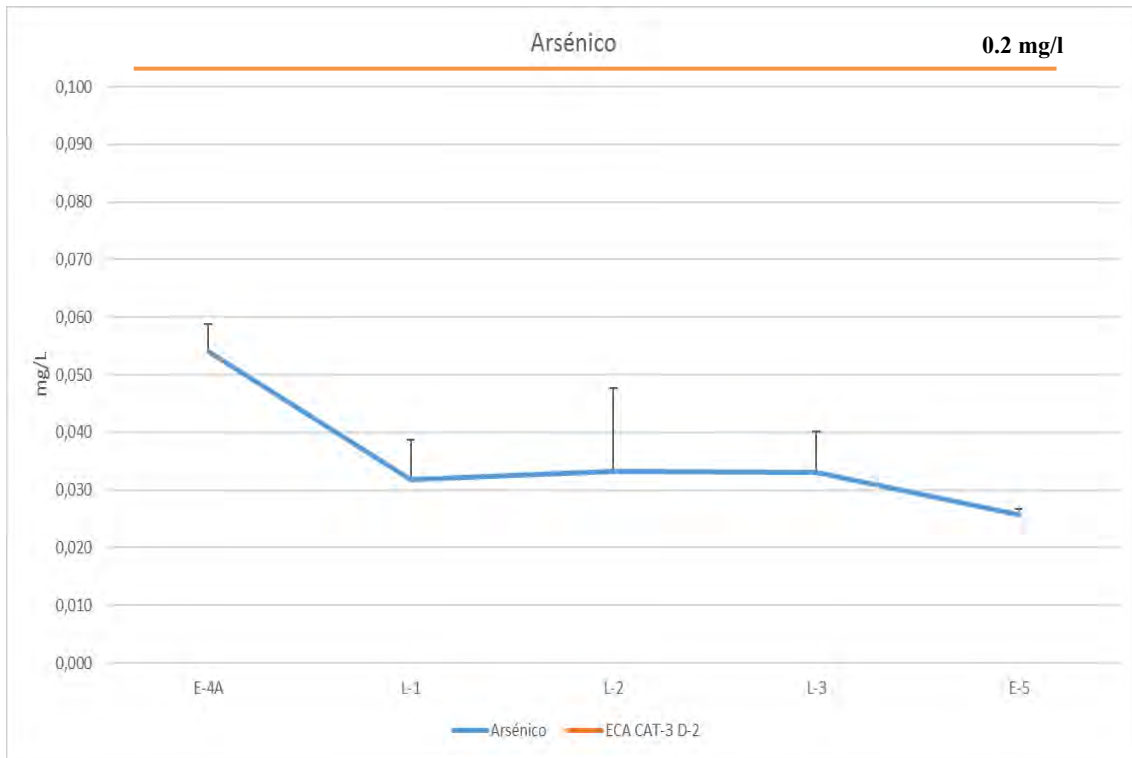


Figura 12: Resultados de la concentración del arsénico, elaboración propia.

#### 4.9 Boro

Se presenta en la figura 13 y la tabla 13 las concentraciones de boro sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 13: Concentración de boro en la laguna Tinquicocha.

		BORO mg/l				
AÑO	ESTACIONES	E-4A	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	0,134	0,075	0,005	0,042	0,056
	FEBRERO	0,137	0,039	0,066	0,043	0,059
	MARZO	0,107	0,049	0,047	0,057	0,049
	ABRIL	0,117	0,036	0,056	0,041	0,044
	MAYO	0,102	0,062	0,039	0,048	0,037
	JUNIO	0,128	0,066	0,057	0,071	0,052
	JULIO	0,12	0,071	0,034	0,067	0,045
	AGOSTO	0,14	0,047	0,05	0,064	0,061
	SETIEMBRE	0,145	0,077	0,064	0,074	0,059
	OCTUBRE	0,173	0,073	0,071	0,084	0,064
	NOVIEMBRE	0,187	0,062	0,065	0,082	0,052

	<b>DICIEMBRE</b>	0,136	0,067	0,064	0,054	0,048
<b>2019</b>	<b>ENERO</b>	0,113	0,041	0,042	0,039	0,036
	<b>FEBRERO</b>	0,131	0,02557	0,045	0,042	0,045
	<b>MARZO</b>	0,119	0,03	0,03	0,03	0,031
	<b>ABRIL</b>	0,136	0,006	0,037	0,06	0,051
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,133</b>	<b>0,052</b>	<b>0,048</b>	<b>0,056</b>	<b>0,049</b>
	<b>ERROR</b>	<b>0,022</b>	<b>0,021</b>	<b>0,017</b>	<b>0,016</b>	<b>0,009</b>
	<b>ECA CAT-3 D-2</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>

Fuente: Elaboración propia.



Figura 83: Resultados de la concentración de boro, elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 13 la concentración de boro en las estaciones de monitoreo sobre la laguna Tinquicocha en los años 2018 y 2019 se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales 5 mg/l.

#### 4.10 Cadmio

Se presenta en la figura 14 y la tabla 14 las concentraciones de cadmio sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 74: *Concentración de cadmio en la laguna Tinquicocha.*

		CADMIO mg/l				
AÑO	ESTACIONES	E-4 <sup>a</sup>	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	0,00141	0,00046	<0,00001	0,00061	<0,00001
	FEBRERO	0,00246	0,00038	0,00046	0,00037	0,00001
	MARZO	0,00409	0,00031	0,00074	0,00039	0,00001
	ABRIL	0,00315	0,00031	0,00061	0,00056	0,00034
	MAYO	0,00138	0,00056	0,00001	0,00073	0,0004
	JUNIO	0,00098	0,00119	0,00001	0,00077	0,00035
	JULIO	0,00072	0,00076	0,00052	0,00081	0,00001
	AGOSTO	0,00066	0,00001	0,00069	0,00037	0,00035
	SETIEMBRE	0,00032	0,00057	0,00047	0,00057	0,00031
	OCTUBRE	0,00079	0,00041	0,00063	0,00065	0,00001
	NOVIEMBRE	0,00177	0,0006	0,00061	0,00086	0,00001
	DICIEMBRE	0,00192	0,0007	0,00204	0,00062	0,00002
2019	ENERO	0,00656	0,00063	0,00088	0,00052	0,00033
	FEBRERO	0,00524	0,00056	0,00062	0,0005	0,00033
	MARZO	0,00564	0,00061	0,00065	0,00073	0,00001
	ABRIL	0,00245	0,00001	0,00058	0,00068	0,00001
<b>PROMEDIO</b>		<b>0,002</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,0002</b>
<b>ERROR</b>		<b>0,0019</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,0002</b>
<b>ECA</b>		<b>0,050</b>	<b>0,050</b>	<b>0,050</b>	<b>0,050</b>	<b>0,050</b>

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 14 y tabla 14 las concentraciones de cadmio en todas las estaciones de monitoreo sobre la laguna Tinquicocha, se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental para agua categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales 0.05 mg/l.

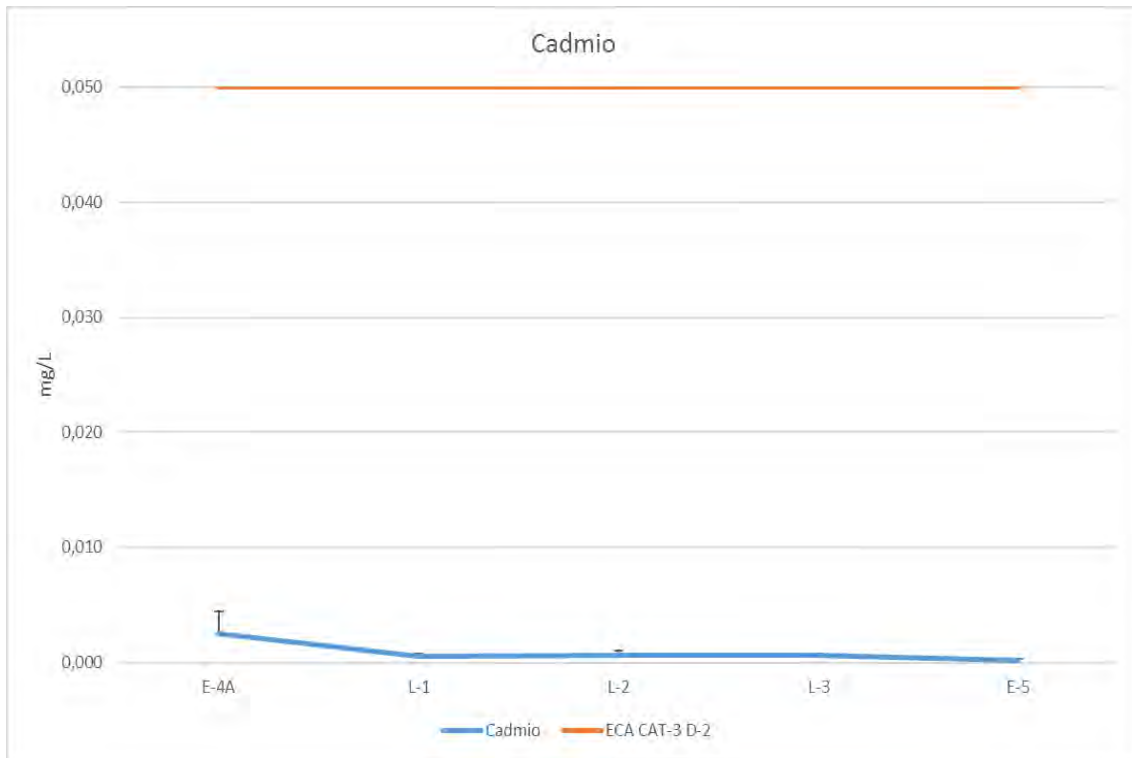


Figura 94: Resultados de la concentración de cadmio, elaboración propia.

#### 4.11 Cobre

Se presenta en la figura 15 y la tabla 15 las concentraciones de cobre sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 85: Concentración de cobre en la laguna Tinquicocha.

		COBRE mg/l				
AÑO	ESTACIONES	E-4A	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	0,00368	0,0032	0,007	0,00297	0,00076
	FEBRERO	0,00589	0,00119	0,0029	0,00081	0,00075
	MARZO	0,07447	0,00062	0,01243	0,0019	0,00059
	ABRIL	0,06845	0,0022	0,00163	0,0014	0,00098
	MAYO	0,00631	0,00367	0,00135	0,00189	0,00083
	JUNIO	0,00435	0,0068	0,00154	0,0026	0,00093
	JULIO	0,00325	0,0045	0,00156	0,00219	0,00084
	AGOSTO	0,00816	0,00151	0,00251	0,01078	0,00164
	SETIEMBRE	0,00161	0,00277	0,00131	0,00236	0,00054
	OCTUBRE	0,00269	0,00164	0,00351	0,00332	0,00183
	NOVIEMBRE	0,00295	0,00156	0,00208	0,00494	0,00104

	<b>DICIEMBRE</b>	0,00323	0,00121	0,00729	0,00147	0,00078
<b>2019</b>	<b>ENERO</b>	0,32309	0,00197	0,01372	0,00507	0,00076
	<b>FEBRERO</b>	0,12133	0,00331	0,00262	0,00191	0,00076
	<b>MARZO</b>	0,05792	0,00292	0,00338	0,00466	0,00094
	<b>ABRIL</b>	0,03296	0,0004	0,00346	0,00453	0,00116
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,048</b>	<b>0,002</b>	<b>0,004</b>	<b>0,003</b>	<b>0,001</b>
	<b>ERROR</b>	<b>0,084</b>	<b>0,002</b>	<b>0,004</b>	<b>0,002</b>	<b>0,0003</b>
	<b>ECA</b>	<b>0,500</b>	<b>0,500</b>	<b>0,500</b>	<b>0,500</b>	<b>0,500</b>

Fuente: Elaboración propia.

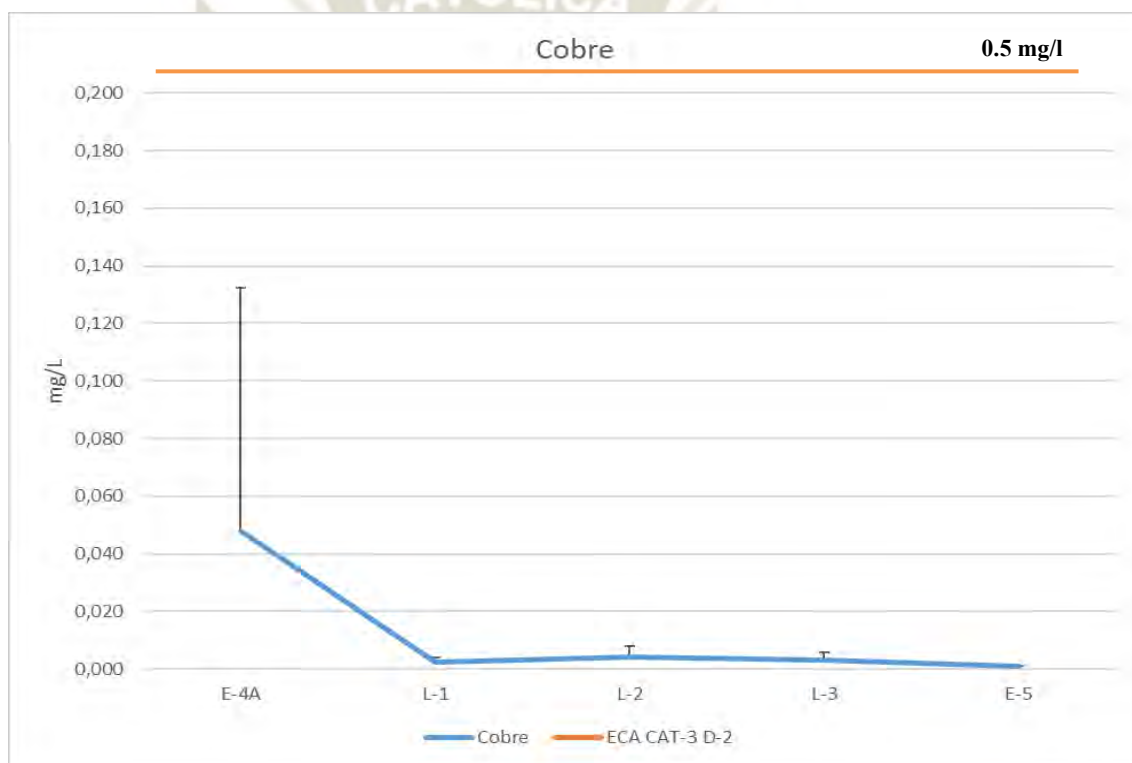


Figura 15: Resultados de concentración de cobre, elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 15 las concentraciones de cobre en todas las estaciones de monitoreo sobre la laguna Tinquicocha se encuentran por debajo de lo establecido de los estándares de calidad nacional, categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales 0.5 mg/l, como se puede observar en la figura 12.



#### 4.12 Manganeso

Se presenta en la figura 16 y la tabla 16 las concentraciones de manganeso sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 96: *Concentración de manganeso en la laguna Tinquicocha.*

		MANGANESO mg/l				
AÑO	ESTACIONES	E-4A	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	0,09282	0,02316	0,01462	0,02994	0,0071
	FEBRERO	0,09796	0,0119	0,02372	0,00629	0,00764
	MARZO	0,22738	0,00886	0,08549	0,017	0,00809
	ABRIL	0,1932	0,01756	0,02036	0,0137	0,00903
	MAYO	0,10751	0,03836	0,02099	0,01678	0,00746
	JUNIO	0,10358	0,0611	0,02762	0,02546	0,0078
	JULIO	0,09367	0,05602	0,01548	0,02127	0,00681
	AGOSTO	0,09791	0,03803	0,02505	0,04311	0,01245
	SETIEMBRE	0,07974	0,0208	0,00811	0,02109	0,00655
	OCTUBRE	0,0842	0,018	0,02969	0,02654	0,00614
	NOVIEMBRE	0,08546	0,0119	0,01935	0,05255	0,00689
	DICIEMBRE	0,08626	0,00988	0,08842	0,01945	0,00759
2019	ENERO	0,32094	0,01334	0,09286	0,13886	0,00864
	FEBRERO	0,26683	0,04597	0,02179	0,02741	0,00806
	MARZO	0,40827	0,04736	0,04751	0,06617	0,00967
	ABRIL	0,14735	0,00758	0,06929	0,03379	0,01588
<b>PROMEDIO</b>		<b>0,156</b>	<b>0,027</b>	<b>0,038</b>	<b>0,035</b>	<b>0,008</b>
<b>ERROR</b>		<b>0,100</b>	<b>0,018</b>	<b>0,029</b>	<b>0,032</b>	<b>0,002</b>
<b>ECA</b>		<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la estación de monitoreo E-4A se observó que en marzo del año 2018 registro una concentración 0.23 mg/l y en los meses de enero, febrero y marzo del año 2019 registro las concentraciones 0.32, 0.27 y 0.41 mg/l respectivamente, son superiores a lo establecido en los ECA's de agua, categoría 3, subcategoría D-2 para agua de bebida de animales (0.2 mg/l) con diferencia de 0.2 mg/l puede ser debido a la disolución de la geología por las precipitaciones pluviales de la época húmeda de la zona.

Las otras estaciones se encuentran por debajo de los establecido en la normativa ambiental.

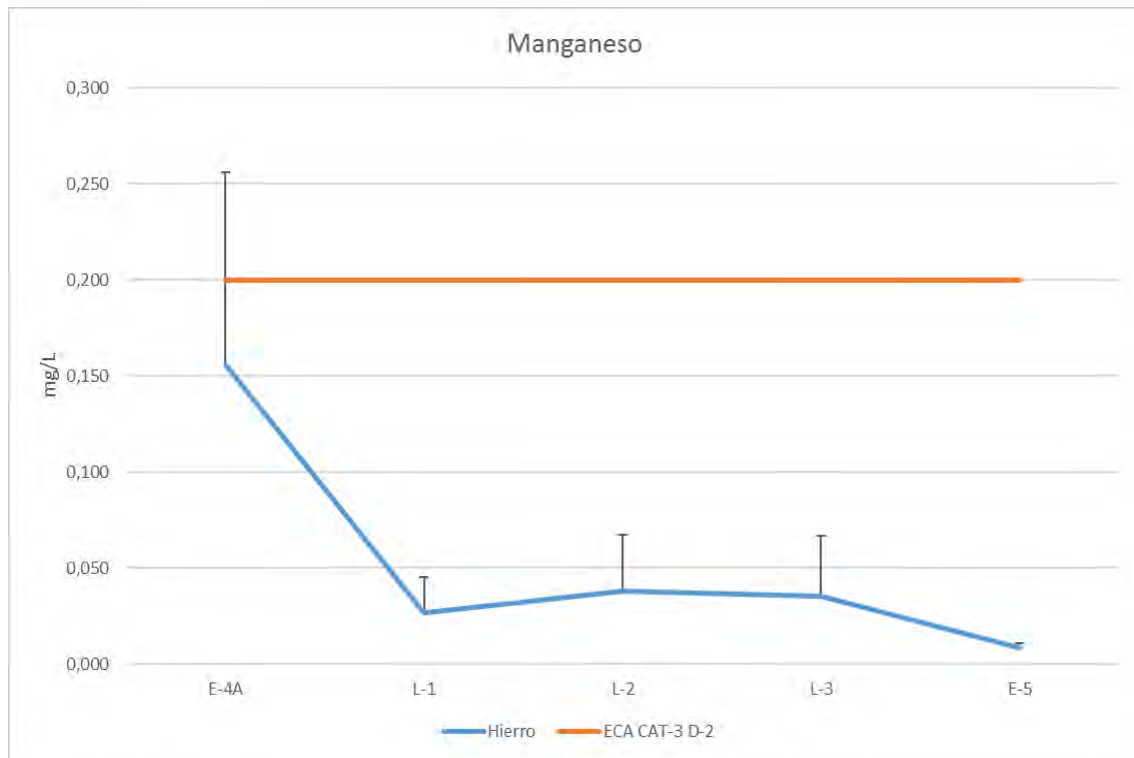


Figura 16: Resultados de concentración de manganeso, elaboración propia.

#### 4.13 Mercurio

Se presenta en la figura 17 y la tabla 17 las concentraciones de mercurio sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 17: Concentración de mercurio en la laguna Tinquicocha.

		MERCURIO mg/l				
AÑO	ESTACIONES	E-4A	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	FEBRERO	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	MARZO	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	ABRIL	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	MAYO	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	JUNIO	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	JULIO	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003

	<b>AGOSTO</b>	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	<b>SETIEMBRE</b>	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	<b>OCTUBRE</b>	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	<b>NOVIEMBRE</b>	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	<b>DICIEMBRE</b>	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
<b>2019</b>	<b>ENERO</b>	0,00003	0,00003	0,00003	0,00005	0,00003
	<b>FEBRERO</b>	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	<b>MARZO</b>	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	<b>ABRIL</b>	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,000030</b>	<b>0,000030</b>	<b>0,000030</b>	<b>0,000031</b>	<b>0,000030</b>
	<b>ERROR</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>ECA</b>	<b>0,010</b>	<b>0,010</b>	<b>0,010</b>	<b>0,010</b>	<b>0,010</b>

Fuente: Elaboración propia.

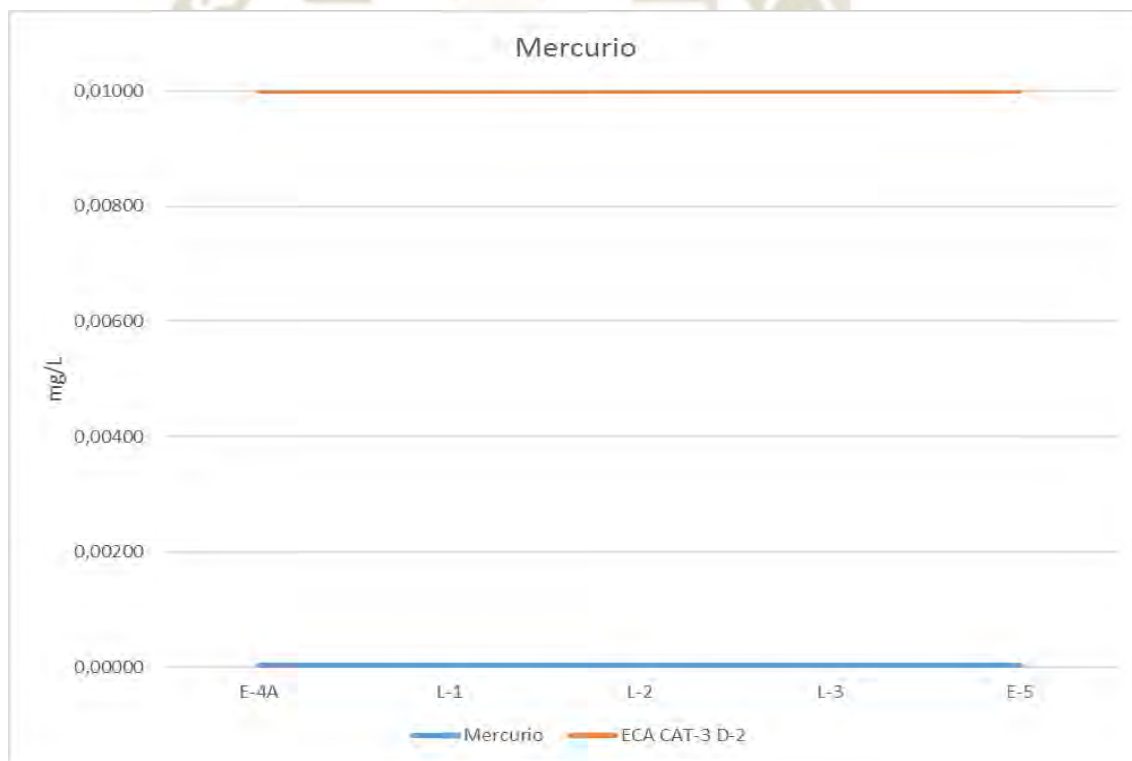


Figura 107: Resultados de la concentración de mercurio, elaboración propia.

Como se puede observar, todas las estaciones registraron unas concentraciones debajo de lo establecido por la normativa ambiental, como se puede observar en la figura 16.

#### 4.14 Plomo

Se presenta en la figura 18 y la tabla 18 las concentraciones de plomo sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 18: *Concentración de plomo en la laguna Tinquicocha.*

		PLOMO mg/l				
AÑO	ESTACIONES	E-4A	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	0,0068	0,0022	0,0186	0,0125	0,0002
	FEBRERO	0,0134	0,0017	0,016	0,0021	0,0005
	MARZO	0,0306	0,0013	0,0814	0,0093	0,0005
	ABRIL	0,0202	0,0025	0,0036	0,003	0,0008
	MAYO	0,0098	0,0187	0,0002	0,0016	0,0002
	JUNIO	0,0089	0,0387	0,0002	0,0071	0,0002
	JULIO	0,005	0,0237	0,0022	0,0037	0,0002
	AGOSTO	0,0117	0,0019	0,0049	0,0251	0,0027
	SETIEMBRE	0,0046	0,003	0,001	0,003	0,0002
	OCTUBRE	0,0049	0,003	0,0115	0,016	0,0004
	NOVIEMBRE	0,0058	0,0037	0,0064	0,0423	0,0007
	DICIEMBRE	0,007	0,0031	0,071	0,0048	0,001
2019	ENERO	0,0468	0,0072	0,0649	0,0176	0,0007
	FEBRERO	0,0581	0,008	0,0065	0,0045	0,0006
	MARZO	0,0285	0,0088	0,0131	0,0236	0,0007
	ABRIL	0,0233	0,0005	0,006	0,0093	0,0008
<b>PROMEDIO</b>		<b>0,018</b>	<b>0,008</b>	<b>0,019</b>	<b>0,012</b>	<b>0,001</b>
<b>ERROR</b>		<b>0,016</b>	<b>0,010</b>	<b>0,027</b>	<b>0,011</b>	<b>0,001</b>
<b>ECA</b>		<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 18, en la estación E-4A en el mes de febrero del 2019 se registró 0.058 mg/l y en la estación L-2 en marzo del 2018 registró 0.081 mg/l y diciembre y enero del 2019 registró 0.071 y 0.065 mg/l respectivamente, esta presencia de plomo puede ser debido a la presencia de sólidos en suspensión en la laguna, dicha estación se encuentra por encima de los establecido por la normativa ambiental, las otras estaciones se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales 0.05 mg/l.

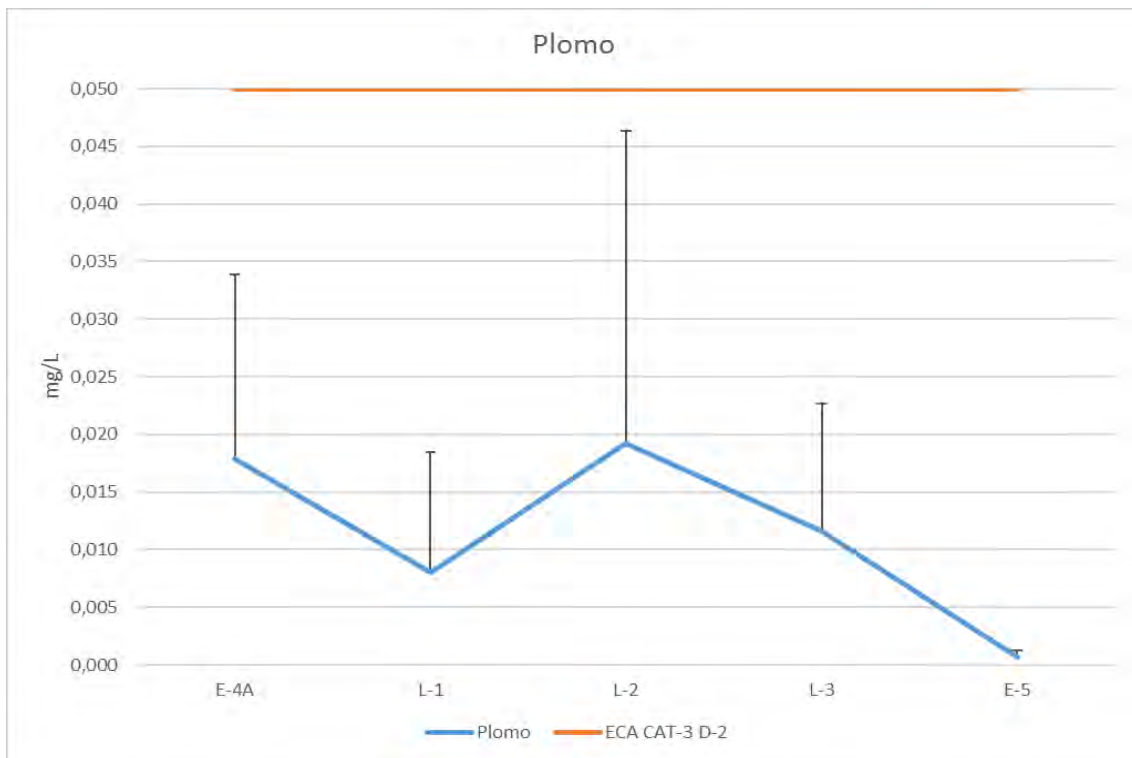


Figura 1811: Resultados de la concentración de plomo, elaboración propia.

#### 4.15 Zinc

Se presenta en la figura 19 y la tabla 19 las concentraciones de zinc sobre la laguna Tinquicocha.

Tabla 109: Concentración de zinc en la laguna Tinquicocha.

		ZINC mg/l				
AÑO	ESTACIONES	E-4A	L-1	L-2	L-3	E-5
2018	ENERO	0,5427	0,1409	0,0491	0,1482	0,1406
	FEBRERO	0,8576	0,197	0,1514	0,148	0,1434
	MARZO	1,4780	0,171	0,2355	0,1131	0,1718
	ABRIL	1,1300	0,131	0,232	0,215	0,165
	MAYO	0,5885	0,1902	0,1731	0,2855	0,1767
	JUNIO	0,4602	0,2832	0,1313	0,2889	0,1926
	JULIO	0,361	0,2843	0,2395	0,3253	0,1838
	AGOSTO	0,3112	0,1416	0,2625	0,0958	0,1965
	SETIEMBRE	0,106	0,1442	0,1428	0,1985	0,1615
	OCTUBRE	0,2362	0,1442	0,2169	0,1791	0,151
	NOVIEMBRE	0,4759	0,2249	0,2584	0,2373	0,1687

	<b>DICIEMBRE</b>	0,60920	0,27660	0,45880	0,24010	0,16080
<b>2019</b>	<b>ENERO</b>	1,47400	0,2294	0,2631	0,1829	0,1466
	<b>FEBRERO</b>	1,46700	0,1593	0,251	0,1685	0,1601
	<b>MARZO</b>	1,29200	0,2161	0,2019	0,2254	0,1739
	<b>ABRIL</b>	0,77260	0,0122	0,2045	0,2569	0,1589
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,809</b>	<b>0,184</b>	<b>0,217</b>	<b>0,207</b>	<b>0,166</b>
	<b>ERROR</b>	<b>0,558</b>	<b>0,070</b>	<b>0,087</b>	<b>0,065</b>	<b>0,016</b>
	<b>ECA</b>	<b>24,0</b>	<b>24,0</b>	<b>24,0</b>	<b>24,0</b>	<b>24,0</b>

Fuente: Elaboración propia.

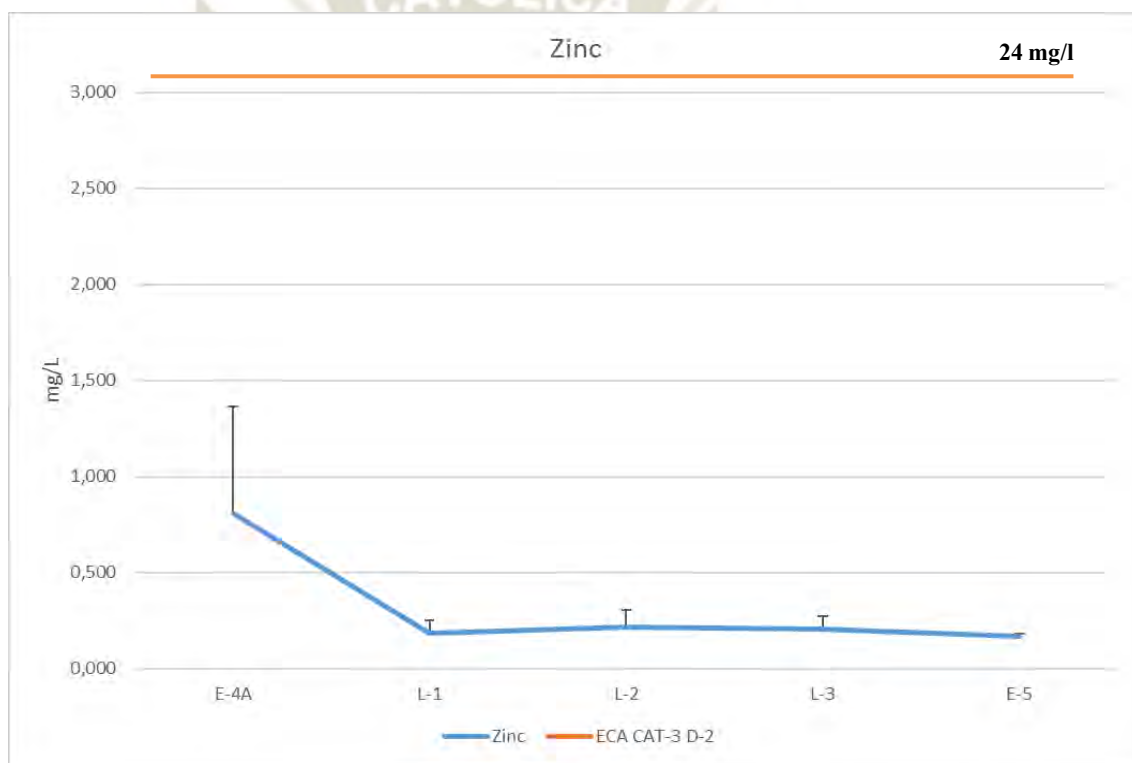


Figura 19: Resultados de la concentración de zinc, elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 19 las concentraciones de zinc en todas las estaciones de monitoreo se encuentran por debajo del estándar de calidad ambiental para agua, categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales que estableció como límite máximo 24 mg/l.

#### 4.16 Índices de calidad de la laguna Tinquicocha

A continuación, se muestran los resultados de la evaluación de los índices de calidad ambiental mediante la metodología ICA-PE establecido por la Autoridad Nacional del Agua.

##### 4.16.1 ICA-PE temporada húmeda 2018.

En la tabla 20, se muestran los resultados de la evaluación de los índices de calidad en la laguna Tinquicocha en la temporada húmeda en el año 2018 (ver mapa 02).

Tabla 20: Resultados de los índices de calidad, temporada húmeda 2018.

TEMPORADA HUMEDA 2018		
ESTACIONES DE MONITOREO	VALOR	ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL)
E-4A	90,8	EXCELENTE
L-1	90,8	EXCELENTE
L-2	85,9	BUENO
L-3	94,9	EXCELENTE
E-5	95,3	EXCELENTE

Fuente: Elaboración propia.

Las estaciones de monitoreo E-4A, L-1, L-3 y E-5 obtuvieron una calificación de excelente, con una interpretación de la calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.

La estación L-2 tiene una calificación de bueno, 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.

##### 4.16.2 ICA-PE temporada seca 2018.

Se muestran los resultados de los índices de calidad para la laguna Tinquicocha en la temporada seca del año 2018, observar la tabla 19 (ver mapa 03).

Tabla 21: *Resultados de los índices de calidad, temporada seca 2018.*

TEMPORADA SECA 2018		
ESTACIONES DE MONITOREO	VALOR	ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL
E-4A	100	EXCELENTE
L-1	94,9	EXCELENTE
L-2	95,5	EXCELENTE
L-3	94,9	EXCELENTE
E-5	95,4	EXCELENTE

Fuente: elaboración propia.

Todas las estaciones de monitoreo obtuvieron una calificación de índice de calidad ambiental de excelente, donde la calidad del agua está protegida con la ausencia de amenazas o daños, las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.

#### 4.16.3 ICA-PE temporada húmeda 2019.

En la tabla 20, se puede observar los resultados de la evaluación de los índices de calidad ambiental de la laguna Tinquicocha (ver mapa 04).

Tabla 22: *Resultados de los índices de calidad, temporada seca 2019.*

TEMPORADA HUMEDA 2019		
ESTACIONES DE MONITOREO	VALOR	ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL
E-4A	85,3	BUENO
L-1	95,2	EXCELENTE
L-2	90,7	EXCELENTE
L-3	90,1	EXCELENTE
E-5	93,7	EXCELENTE

Fuente: Elaboración propia.

La estación E-4A obtuvo una calificación de índice de calidad ambiental de bueno, donde la calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural y puede presentar algunas amenazas o daños de poca magnitud.

Las otras estaciones obtuvieron una calificación de índice de calidad ambiental de excelente, dichas aguas están protegidas de amenazas o daños, las condiciones muy cercanas a niveles naturales.



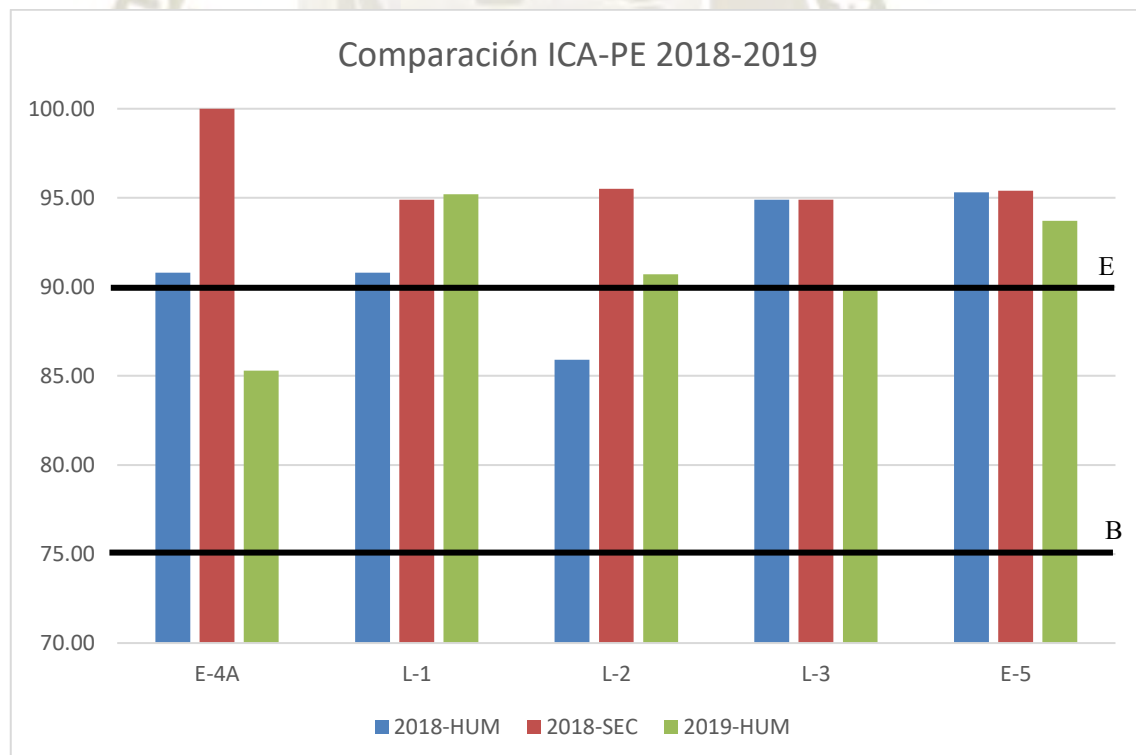
Las variaciones de los resultados de los índices de calidad en las temporadas húmedas y secas del año 2018 y 2019, no fueron muy diferentes, la estación L-2 de la temporada húmeda a la temporada seca del año 2018 cambio de bueno a excelente, el mismo resultado se observa con la temporada húmeda del año 2019, otra variación que se puede observar es la estación E-4A, cambio de la temporada seca 2018 de bueno a excelente en las temporadas húmedas de los años 2018 y 2019.

Las otras estaciones mantuvieron sus ponderaciones en los dos años de evaluación.

#### 4.16.4 Comparaciones de ICA-PE 2018-2019.

Como se puede observar, en la figura 20 se realizó la comparación de los resultados de ICA-PE en la temporada húmeda y seca de 2018 y húmeda de 2019.

**Figura 20: Comparación de resultados de ICA-PE, elaboración propia.**



Como se puede ver en la Figura 19, en el punto de monitoreo E-4A hay una variación entre 85.3 – 100, en la temporada húmeda de 2018 tiene una ponderación de 90.8

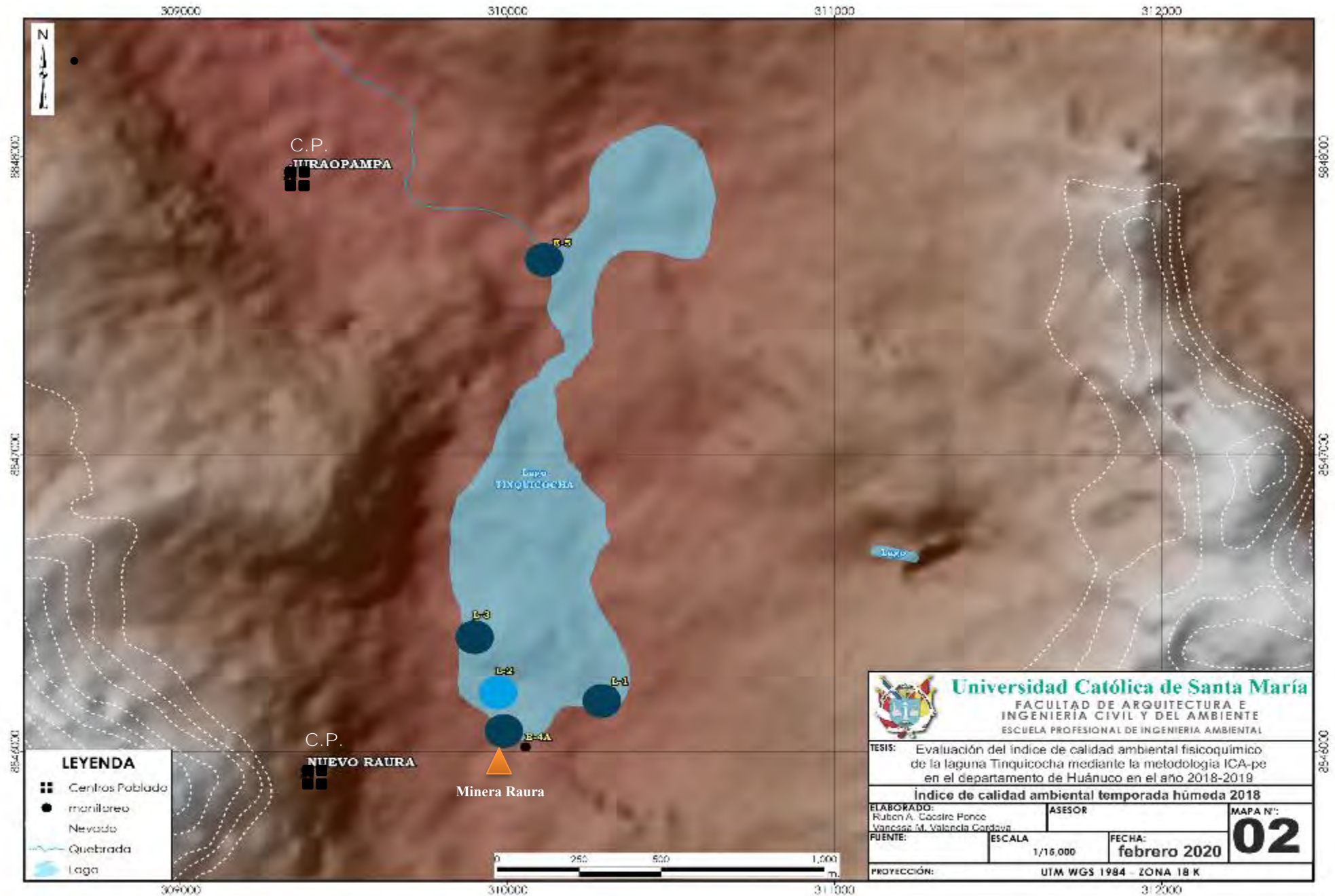
(excelente), en la temporada seca del mismo año registro una reducción hasta 100 (excelente) y después en la temporada húmeda de 2019 registro una ponderación de 85.3 (bueno) observando una disminución en la calidad de los efluentes mineros vertidos hacia la laguna Tinquicocha, entre los años 2018 y 2019.

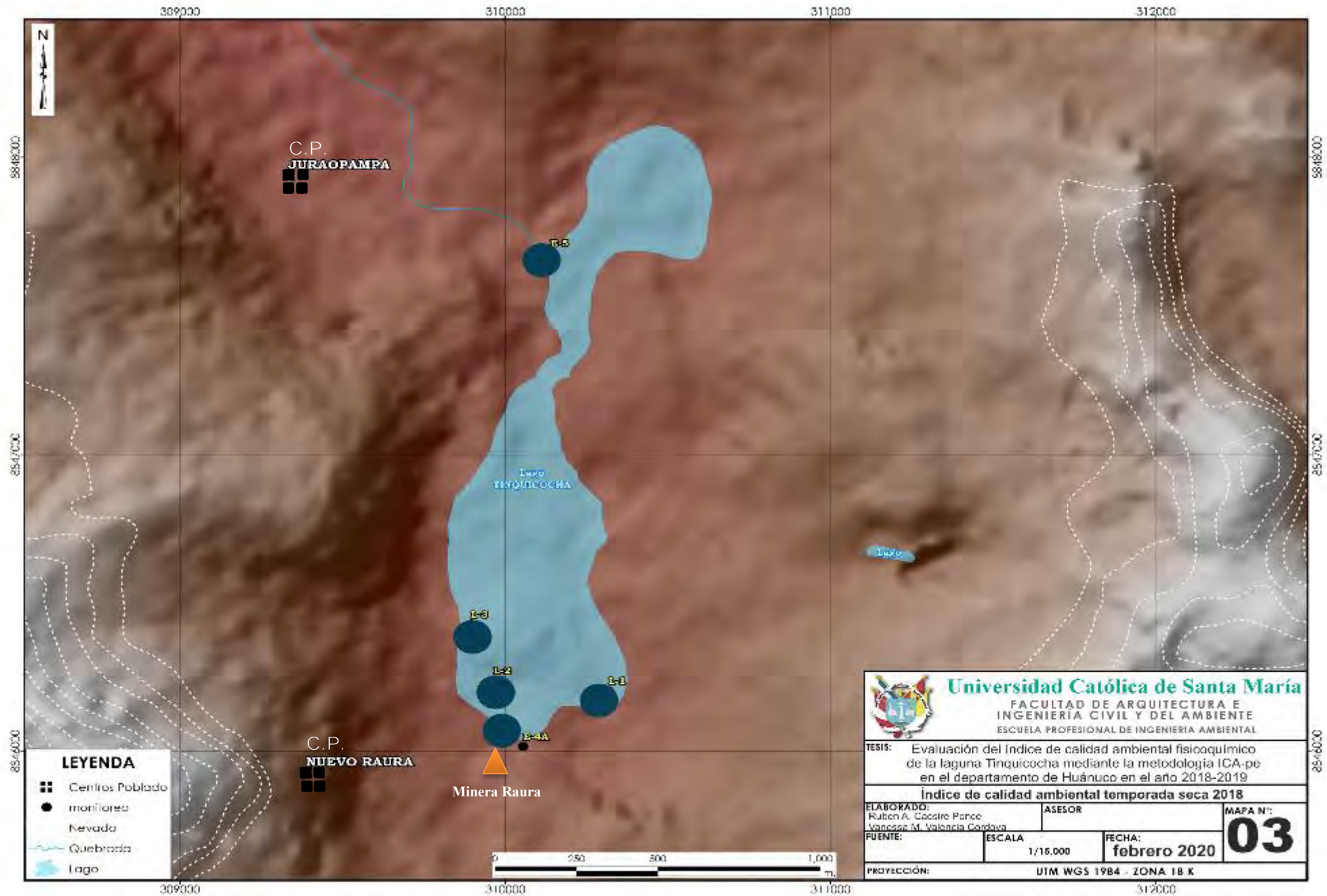
En el punto de monitoreo L-2, se observó una mejora de la calidad del agua de la laguna, incrementándose de 85.9 (bueno) en la temporada húmeda 2018, 95.5 (excelente) en la temporada seca de 2018 y 90.7 (excelente) en la temporada húmeda de 2019, en este último se observó una ligera disminución de la calidad del agua. El punto L-2 se encuentra al centro del vertimiento de los efluentes sobre la laguna Tinquicocha, tiene una relación con los resultados en el punto de descarga de los efluentes mineros E-4A debido a su cercanía con dicho punto de monitoreo; este incremento en la ponderación del punto L-2 se puede deber a la dilución de las concentraciones de los efluentes vertidos en la laguna.

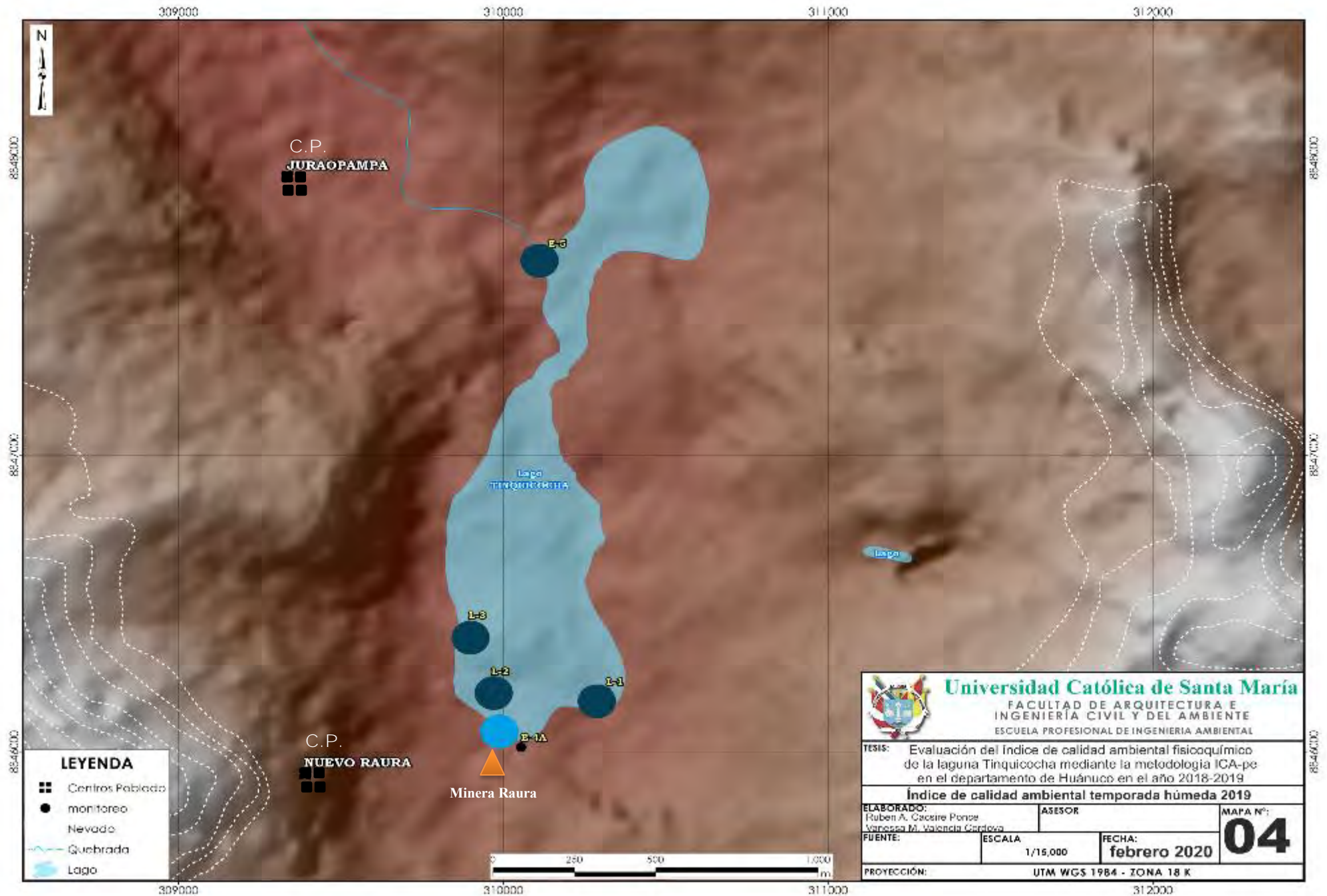
Los demás puntos de monitoreo en las tres temporadas de evaluación (húmeda, seca 2018 y húmeda 2019) obtuvieron una ponderación de excelente, no registrando variaciones en el tiempo de evaluación.

Finalmente, la Figura 19 muestra que como en el nivel “excelente” (E) se ubican casi todos los reportes de los puntos de monitoreo E-4A, L-1, L-2, L-3 y E-5; a excepción de la temporada húmeda 2019 (E-4A) y temporada húmeda 2018 (L-2) que se ubican como “bueno” (B); no registrándose ningún reporte como “regular”, “malo” o “pésimo”.

A continuación, se muestran los índices significativos de calidad ambiental fisicoquímico en las áreas geográficas muestreadas correspondientes según: temporada húmeda 2018 (Mapa N° 02), temporada seca 2018 (Mapa N° 03) y, temporada húmeda 2019 (Mapa N° 04).







#### 4.17 Discusión de los resultados

Según el objetivo general de la presente investigación, “Evaluar los índices de calidad ambiental fisicoquímicos mediante la metodología ICA-pe, de la Laguna Tinquicocha para las épocas húmedas y secas del 2018 y época húmeda del 2019” se evaluaron los 13 parámetros fisicoquímicos como el pH, conductividad, oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, Al, As, B, Cd, Mn, Hg, Pb, Zn, como indica la metodología aprobada por la Autoridad Nacional del Agua, de los resultados obtenidos por un laboratorio acreditado por INACAL, se realizó la comparación con los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3 agua para bebida de animales, como se puede observar en la figura 6 el pH, en la figura 8 el oxígeno disuelto, en la figura 15 el manganeso y en la figura 17 el plomo, superan dichos estándares en la temporada húmeda de 2018 y 2019, estos se vieron afectados por la bajas temperaturas, material particulado en suspensión y la abundante precipitación que es característica de la temporada.

Es importante considerar el modelamiento de dispersión de contaminantes, para interpretar la influencia del vertimiento sobre la laguna, según Claros, E. et al, (s.f), la variación de la dispersión del contaminante se ve influenciada por el caudal y tipo de fluido, por ende se hace necesario realizar toma de muestras en diferentes tramos para simular el comportamiento de la ecuación de advección y difusión.

La importancia de la temperatura y el oxígeno disuelto estriba en que son factores que influye en la mayoría de los procesos vitales de los organismos, así como en variados factores abióticos del ecosistema (Betancourt et al., 2009). Estas variables físico-químicas juegan un importante papel en la intensidad de los procesos fotosintéticos, remineralización de la materia orgánica y liberación de nutrientes y metales desde los sedimentos (Bostrom et al., 1988; Harris, 1999). La condición de si las aguas contienen o carecen de oxígeno, determina la transformación de metales como el fierro y los

compuestos de nitrógeno y fósforo (Bostrom et al., 1982; Dodds, 2002; Chulgoo et al., 2006), por tales razones se debe conocer el comportamiento de la concentración de oxígeno en la columna de agua, ya que son una importante herramienta para recomendar el uso sustentable de este tipo de ambientes acuáticos (Santiago & Vignatti, 2009).

La solubilidad del oxígeno disminuye a medida que aumenta la temperatura. Esto significa que el agua superficial, más caliente, necesita menos oxígeno disuelto para alcanzar el 100 % de saturación de aire que el agua más profunda y fría, por tanto, algunas disminuciones de oxígeno disuelto que encontramos en nuestra investigación en el mes de marzo del 2018 y 2019, pueden deberse a que no existe presencia de heladas en este mes.

De acuerdo a los datos obtenidos en la medición de **pH**, el valor promedio para cada estación se encuentra en el rango establecido por el ECA (6,5-8,4). Sin embargo, se obtuvo un valor de 9,26 en el mes de agosto, en la estación L-3, tendencia a basicidad. Lo cual coincide con la investigación realizada por Alva (2018), en su investigación realizada en la Laguna Azul en San Martín, se obtuvieron valores de pH con tendencia básica, encontrando un único valor en sobre los estándares establecidos, lo cual es relacionado con otros parámetros alterados en las zonas muestreadas, como fosfato y nitratos. El pH del agua se debe sobre todo al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos (Marín 2003). Huamancayo (2019), en la Laguna de los Milagros, el pH registrado en la laguna no superó el ECA para las categorías evaluadas 1 y 4, varió de 7.53 a 8.95. Los valores máximos registrados, se deben a que un pH entre 7 a 9, son lugares adecuados para el crecimiento de algas, los puntos de monitoreo LLmil8 es una zona conformada por una extensa superficie de algas. Así mismo, los valores de pH cercanos o superiores a 9,0 son bastante comunes durante las horas de la tarde, debido a la intensa actividad de fotosíntesis de las microalgas (fitoplancton), incluso en estanques

con aguas bien amortiguadas (es decir, aguas ricas en carbonatos y bicarbonatos y, por lo tanto, de alta titulación de alcalinidad total y capaces de mantener valores de pH más estables) (Kubitza,2017). Concordando con el horario, en el que fue realizado el monitoreo de nuestra investigación, durante las horas de la tarde, donde el pH alcanzo un valor de 9,26.

En el río Llaucano de la ciudad de Bambamarca, Saavedra (2019), realizó una investigación de la calidad de agua, en tres estaciones de monitoreo, en las cuales se obtuvo valores entre 167.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 363  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los cuales no sobrepasan los ECA's de agua, Categoría 3, lo cual indica que se encuentran en los valores óptimos para mantener la vida acuática y concluye que no es un factor determinante que se vea afectado por las actividades antropogénicas. Similar resultado al descrito por Saavedra (2019), el valor máximo obtenido fue 1055  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el cual no supera los ECA's. categoría 3 subcategoría D2 agua de bebida de animales el cual es 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Con relación a embalses y lagos, la **conductividad** durante el período de mezcla de aguas suele ser más baja que en el período de estratificación térmica y, en esta situación, las aguas anóxicas del fondo pueden presentar valores más elevados de conductividad que las de superficie. Finalmente, si se trata de agua residual industrial la conductividad se incrementará mucho más: por ejemplo, aguas de industrias metalúrgicas, papeleras y vertidos no tratados de mataderos (Marín, 2003)

Según Saavedra (2019), en su estudio del río Llaucano, se registraron valores que cumplen con lo dispuesto en los **Estándares** de Calidad Ambiental para agua, evaluados en la categoría 3, donde los valores deben ser mayores a 5 mg/L. El máximo valor registrado corresponde al punto 3, realizado en el mes de agosto con un valor de 8.15 mg/L y el menor valor obtenido se registró en el punto 1, en el mes de julio con un valor



de 7.13 mg/L, lo cual indica que, a pesar de recibir aporte de vertimientos de aguas residuales, el proceso de autodepuración es beneficiosa en los mismos, esto debido a la profundidad del río y a la fuerza con la que se transporta el agua, lo que favorece a la oxigenación de la misma. En contraste con nuestra investigación, el valor máximo registrado fue 9.8 mg/L, durante el mes de enero de 2018, en la estación L-3 y el valor mínimo fue 2.74 mg/L, sin embargo, también se registró una disminución del OD en las estaciones L-1, L-2 y E-5 con 2.9, 2.8 y 2.8 mg/l respectivamente, en el mes de marzo de 2018. Hay muchos factores que afectan la concentración del **oxígeno disuelto** en un ambiente acuático. Estos factores incluyen: temperatura, flujo de la corriente, presión del aire, plantas acuáticas, materia orgánica en descomposición y actividad humana (Vernier, 2006). En la investigación titulada: Determinación de la calidad del agua de la Laguna Azul de Sauce para su uso según Estándares de Calidad Ambiental (ECA's), Alva (2018), concluyó, que la laguna presenta un alto **grado de eutrofización**, con aportes de materia orgánica y fecal, al revelar los parámetros del DBO elevados y gran cantidad de fosfatos sin tomar en cuenta que existen plantas acuáticas por esa zona. Minaya (2017), también realizó el análisis de este parámetro, obteniendo un valor promedio de 2 mg/L en ambas estaciones muestreadas, concluyendo que este valor se encuentra por debajo del que indica el ECA para agua, afirma que esta variable presenta un estado óptimo en el cuerpo de agua evaluado. En nuestra investigación, se obtuvo el valor  $< 2$  mg/l en las estaciones muestreadas, el resultado obtenido se encuentra bajo el límite de detección. No obstante, se observó en la estación L-1 en el mes de febrero de año 2018, un valor de 13 mg/l, dicho valor no sobrepasa los ECA's, sin embargo, como cito Diaz (2013), en su investigación: La materia orgánica, tanto natural como de contaminación puede crear altas **demandas biológicas de oxígeno** (DBO) y consumir el oxígeno del agua. Esto puede causar mortandad de peces y alterar las comunidades de organismos acuáticos. (Watch, 2003).

En cuanto a los resultados obtenidos del análisis de **metales pesados**, con relación al **aluminio**, se obtuvo valores por debajo de lo establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para agua, categoría 3, subcategoría D-2 agua (5 mg/l) en los dos años de evaluación 2018 y 2019. El valor máximo obtenido durante el análisis fue en el mes de enero de 2019, en la estación L-2, con una concentración de 0.421 mg/l. Pari (2017), en su investigación titulada “*Efectos de los relaves mineros en la calidad del agua del río Ananea – Puno*”, obtuvo concentraciones de Al, con valores máximos de 41.416 mg/l en la época de avenida y 96.78 mg/l en la época de estiaje, ambas en el punto de muestreo M-1, las concentraciones en ambas épocas, superan los parámetros de los ECA’s para aguas en el punto de muestreo M-1, los demás puntos de muestreo realizados las concentraciones de Al están por debajo de los parámetros de ECA para aguas.

Los resultados de concentración de **arsénico** del periodo evaluado 2018 y 2019, se encuentra por debajo de lo establecido en los ECA’s para agua, categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales 0.2 mg/l. Donde el valor máximo registrado fue 0.06018 mg/l, en el mes de agosto de 2018. Flores (2016), en su investigación “*Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera*”, compara con el Estándar de Calidad Ambiental para agua, aprobado según la resolución D.S. N° 015-2015-MINAM, donde establece el ECA con un valor de 0,15 mg/l, en las estaciones de monitoreo, la concentración de As varió entre 0,010 y 0,018 mg /l. Bajo lo cual, se concluye que en ningún caso se sobrepasó los estándares de calidad ambiental, además mantuvo una concentración casi constante en los diferentes puntos de monitoreo y tampoco se evidenció variación significativa entre una y otra estación climática. En contraste con la investigación realizada por Pari (2017),

las concentraciones de **As** registradas en la estación de monitoreo M-1, valor máximo de 0.331 mg/l en la época de avenida y 0.765 mg/l para la época de estiaje, los cuales se encuentran por encima de los ECA's para consumo humano, riego de cultivos y bebida de ganados en esta estación (M-1), lo que no sucede con los otros puntos de muestreo que sus valores están por debajo de los ECA's para aguas. El **As** (como otros metales o metaloides) puede ser bioacumulado en los organismos acuáticos, pero no parece tener efecto fisiológico conocido (Marín, 2003).

La concentración de **boro** se encuentra por debajo de los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales 5 mg/l. Se registro un valor máximo de 0.187 mg/l en época seca y un mínimo de 0.005 en época húmeda. Capacoila (2017), en su investigación "Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata", concluyó que las concentraciones de **B** en aguas superficiales se encuentran por debajo de los ECA para agua, con un valor máximo de 0.816 mg/l, en época de estiaje y mínimo 0.047 mg/l en época de avenida. Los efluentes de aguas residuales cargados de **B** pueden afectar negativamente la vida de la fauna piscícola, llegando a provocar la mortandad de la misma. Aparte de esto, el **B** es un elemento esencial para el correcto desarrollo de los vegetales, si bien el agua de riego no debería contener más de 0,75 mg/l del metaloide (Marín, 2003).

La concentración de **cadmio** se encuentra por debajo de los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales 0,05 mg/l. Capacoila (2017), de igual forma obtuvo concentraciones de **Cd** en aguas superficiales, por debajo de los ECA para agua, donde el máximo fue 0.00 mg/l y mínimo

0.00 mg/l, en las dos épocas de muestreo. Para este metal, los resultados que se emitieron fueron nulos, en los cinco puntos de muestreo a lo largo del río Coata. Pari (2017), señala que la concentración de Cd se encuentra con una cantidad máxima de 0.014mg/l en la estación de monitoreo M-1 durante la época de estiaje y no hay concentración de Cd en la época de avenida. La concentración de Cd obtenida en la época de estiaje supero los ECA's para consumo humano y riego de cultivos en dicha estación, mientras los demás puntos de muestreo las concentraciones de este metal pesado son constantes (0.002mg/l) y se encuentran por debajo de los ECA's para aguas. El cadmio es fácilmente adsorbido por las raíces de los vegetales (especialmente arroz y trigo) regados con aguas contaminadas por el elemento, ingresando subsiguientemente en el ser humano mediante ingesta de estos vegetales o de alimentos contaminados, o bien directamente mediante el consumo de agua rica en Cd (Marín, 2003).

La concentración de **cobre** se encuentra por debajo de los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales 0,5 mg/l. El máximo valor registrado fue 0.32309 mg/l, en época húmeda. Huaranga et ál. (2012), en su investigación denominada “Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 –2010”, obtuvieron resultados variables a lo largo del análisis de la concentración de Cu, el valor mínimo (0.001 mg/L) se encontró en el año 1990 y 2010 en la Estación Control; mientras que el máximo valor (7.100 mg/L) fue encontrado en el año 1990 en la Cuenca Alta. El valor más bajo de Cu durante el 2010 se encontró en la Estación Control (0.001 mg/l) durante la época de estiaje; y el valor más alto se determinó en la Cuenca Alta (1.190 mg/L) durante la época de estiaje. Contenidos moderados de Cu en aguas naturales tienen un efecto negativo sobre varias especies de pescados (como por ejemplo sobre la trucha) (Marín, 2003).

La concentración de **manganeso**, en la estación de monitoreo E-4A se observó que en marzo del año 2018 registro una concentración 0.23 mg/l y en los meses de enero, febrero y marzo del año 2019 registro las concentraciones 0.32, 0.27 y 0.41 mg/l respectivamente, son superiores a lo establecido en los ECA's de agua, categoría 3, subcategoría D-2 para agua de bebida de animales (0.2 mg/l). Gonzales (2018), en su investigación "Análisis y evaluación de la calidad de agua para consumo humano y propuesta de la tecnología apropiada para su desinfección a escala domiciliaria, de las fuentes de agua de Macashca", evidencio al igual que en nuestra investigación la presencia de valores que sobrepasaban los ECA's. La concentración de manganeso en los cinco puntos de muestreo se encuentra dentro del valor del ECA para agua. Por otro lado, en la estación PM-01 es mayor en comparación al resto, debido a la disolución de rocas y minerales, cuando las corrientes de aguas superficiales, pluviales o subterráneas entran en contacto con los suelos ricos en óxido de Mn.

La concentración de **Mercurio**, en todas las estaciones se registraron debajo de lo establecido por la normativa ambiental (0.010 mg/l). Capacoila (2017), registro las concentraciones de Hg en las aguas superficiales se encuentran por debajo de los ECA para agua, ya que el máximo fue 0.00 mg/l y mínimo 0.00 mg/l en las dos épocas de muestras. Pari (2017), describió un resultado similar para esta variable, no se registraron concentraciones de Hg en todos los puntos de muestreo realizados, durante las dos épocas. Además, concluyó que el Mercurio al ser un metal líquido y tener un peso específico mucho mayor al del agua tiende a sedimentarse en el fondo del río y no será posible encontrar concentraciones de Hg en las muestras de agua superficial, caso contrario sucedería en las muestras de sedimentos en el recorrido de estas aguas.

La concentración de **Plomo**, para la estación E-4 en el mes de febrero de 2019, se registró 0.058 mg/l y en la estación L-2 se registró 0.081 mg/l, 0.071 y 0.065 mg/l en marzo, diciembre de 2018 y enero de 2019 respectivamente. Dichos valores superan lo establecido por la normativa ambiental, las otras estaciones se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales 0.05 mg/l. Se puede notar que los valores que superaron los ECA's, se obtuvieron en la época húmeda, esta presencia de plomo puede ser debido a sólidos en suspensión en la laguna. Por otro lado, Pari (2017), señala la obtención de concentraciones de Plomo con valores máximos de 0.03 mg/l en la época de avenida y de 0.121 mg/l para la época de estiaje, ambos en el punto de muestreo M-1. En las otras estaciones de monitoreo, las concentraciones de Plomo en la época de avenida que están por debajo de los ECA's, con una cantidad mínima en el punto de muestreo M-1. Para la época de estiaje, las concentraciones de Pb están por encima de los ECA's para aguas en los puntos de muestreo M-1 y M-4, mientras los demás puntos de muestreo tienen concentraciones de Pb por debajo de los ECA para aguas. Concluyendo que hay mayor concentración de PB durante la época de estiaje, asumiendo que esto se debe a la existencia de pasivos mineros en la zona, quienes aprovechan al máximo el poco recurso hídrico que se encuentra en la zona reutilizándolo (retorno) tantas veces sea necesaria el agua. Lógicamente, si se detectan concentraciones más altas de Pb será indicativo de que el cauce natural se halla contaminado por aguas residuales ricas en el metal. Además, téngase en cuenta que otra fuente de aporte de Pb de primera magnitud a un agua natural es, en la actualidad, el agua de lluvia contaminada por los gases de escape de los automóviles (Marín, 2003).

La concentración de **Zinc** en todas las estaciones de monitoreo se encuentra por debajo del estándar de calidad ambiental para agua, categoría 3, subcategoría D-2 agua para bebida de animales que estableció como límite máximo 24 mg/l. Se obtuvo un valor máximo de 1.4780 mg/l en 2018, sin embargo, también se registraron otros valores ligeramente inferiores durante la época húmeda. El valor mínimo registrado fue de 0.0122 mg/l en 2019, durante época seca. Berrospi (2020), en su investigación “Influencia del efluente en la concentración de metales pesados de la Laguna Naticocha Norte”, obtuvo una concentración mínima de 0.0040 mg/L, máximo 0.0112 mg/L y promedio 0.008 mg/L, en noviembre; los resultados obtenidos se encuentran dentro de lo establecido en el estándar de calidad ambiental, categoría 4 (0.120 mg/L). Berrospi (2020), concluye su estudio describiendo que el afluente y efluente no influye en la concentración por Zinc (Zn) de la Laguna Naticocha Norte.

De la evaluación de los ICA, las estaciones L-2 y E-4A obtuvieron una ponderación de calidad de bueno en la temporada húmeda de 2018 y 2019 respectivamente, presentando amenazas o daños de poca magnitud con respecto a su calidad, a comparación con las otras estaciones de monitoreo que tuvieron una ponderación de excelente, donde las aguas de la laguna tienen ausencia de amenazas o daños.

Resultados que fueron comparados con el trabajo de investigación de Espinal, Sedeño y López (2013), titulado: Evaluación de la calidad del agua en la laguna de Yuriria, Guanajuato, México, un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010, cuyo objetivo es comparar las condiciones del agua de la laguna antes y después de las acciones tomadas para su restauración, para ellos se analizaron 21 parámetros fisicoquímicos mediante la metodología ICA, para determinar la variación temporal de las características de las aguas. Los resultados revelan que la laguna presenta un alto grado de eutrofización,

con aportes de materia orgánica y fecal, se encontraron variación temporal en la calidad del agua que manifiesta los efectos de las estaciones de estiaje y las de lluvias. Se observó que el canal La Cinta aporta aguas de muy mala calidad y que las existencias de poblados litorales representan un factor determinante en las características del agua en la variable tiempo.

Comparado con el análisis de la laguna Tinquicocha que aplica 15 parámetros fisicoquímicos, se encuentra que no presenta alto grado de eutrofización ni materia orgánica, dado a que recibe efluentes de actividades mineras que son tratados antes de ser vertidos a la laguna Tinquicocha, por el nivel de calidad analizado en el presente estudio, dichas aguas son utilizadas por las poblaciones de los centros poblados ubicados aguas abajo, como recurso para la ganadería (vacunos, ovinos), es por eso la importancia de evaluar y conocer las características cuantitativas y cualitativas de dichas aguas, a diferencia de las aguas de la laguna Yuriria (México), que son afectados por la población establecida en las orillas de la laguna, quienes vierten materia orgánica y fecal, lo que genera la eutrofización de las aguas de dicha laguna.

Como señala Coello et al, evaluó 6 estaciones de monitoreo sobre el río Ozogoche, 8 en el río Pichahuiña y 4 en el río Pomacocho en los años 2011 y 2012, los resultados de la evaluación en las tres microcuencas presentan buena calidad, en comparación con el presente trabajo, el estudio es sobre aguas lenticas, el mayor riesgo es la eutrofización de estas aguas por la concentración de materia orgánica, resaltando esta diferencia los dos estudio obtuvieron una calificación de buena a excelente calidad.

Como lo hace notar Pérez (2017), determinando el índice de calidad de agua sobre las aguas del río Moquegua por la influencia de una planta de tratamiento de aguas residuales durante el periodo 2014-2015, obteniendo unos resultados de calidad media a mala, podemos evidenciar que la calidad de las aguas puede ser modificada por actividades



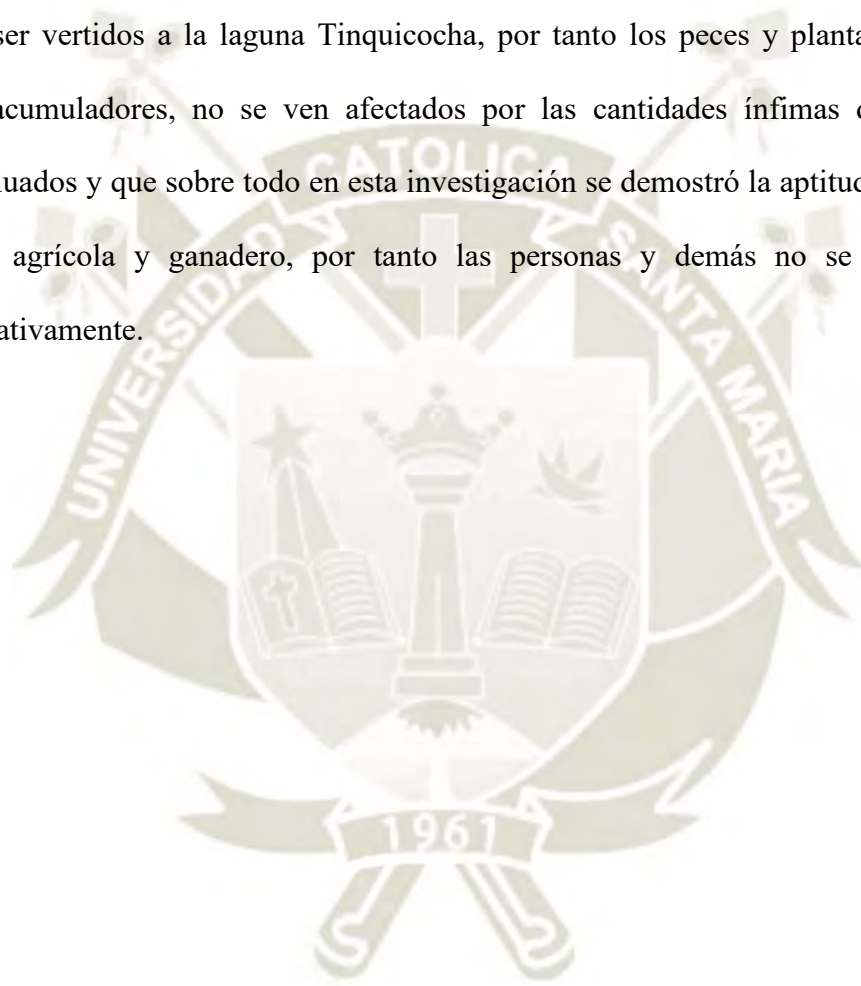
antropogénicas que llevan un adecuado control de la calidad de sus efluentes, en comparación con el presente trabajo, donde la actividad minera realiza un control periódico de la calidad de sus efluente, evidencias la importancia ambiental de cada actividad en el cuidado de los ecosistemas acuáticos.

El no contar con ninguna ponderación de calidad como pésima o mala, implica poner en relevancia la excelente calidad de las aguas de la laguna Tinquicocha identificadas en la presente investigación, su valor para el consumo de la población local, también para actividades que implican riego e industria y, principalmente como recurso paisajístico y medioambiental de la zona. Por tanto, la utilidad de los resultados debe servir para normar y regular los índices de calidad de las aguas de la laguna Tinquicocha a fin de asegurar su preservación en un corto y mediano plazo.

Según Pabón, Benítez, Sarria-Villa & Gallo, a nivel humano los metales pesados como cobalto o manganeso, presentan problemas graves e irreversibles para la salud debido a su toxicidad, encontrando por ejemplo trastornos del sistema nervioso, intoxicación crónica y aguda y pérdida de funciones orgánicas. Esto hace de la exposición a estos metales un problema serio para los humanos, en especial para aquellos cuyos emplazamientos radican cerca de zonas donde el uso de dichos metales sea de forma indiscriminada y con bajos controles ambientales. En las plantas, si bien algunos metales son esenciales para su desarrollo normal pues son componentes y/o catalizadores para proteínas y enzimas ( $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ) y otros metales pese a no ser esenciales si resultan beneficiosos para las plantas, se debe tener en cuenta la alta actividad humana se liberan grandes cantidades de metales. Este exceso de metales como Aluminio, Mercurio, Plomo, entre otros resulta de especial relevancia toxica para las plantas, donde la fitotoxicidad por metales tóxicos se manifiesta particularmente tanto en el crecimiento

como en la formación de raíces laterales y secundarias. Además de que algunos de estos metales suponen peligros adicionales ya que se integran en la cadena trófica.

Comparando con el análisis de la laguna Tinquicocha que de los 15 parámetros fisicoquímicos evaluados, se encuentra que no presenta alto grado de contaminación por estos metales, dado a que recibe efluentes de actividades mineras que son tratados antes de ser vertidos a la laguna Tinquicocha, por tanto los peces y plantas a pesar de ser bioacumuladores, no se ven afectados por las cantidades ínfimas de estos metales evaluados y que sobre todo en esta investigación se demostró la aptitud del agua para el uso agrícola y ganadero, por tanto las personas y demás no se verán afectados negativamente.



## CONCLUSIONES

**Primero.** Los parámetros fisicoquímicos para evaluar los índices de calidad ambiental de la laguna Tinquicocha hallados son: potencial de hidrogeno (pH), conductividad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, manganeso, mercurio, plomo, zinc, que son parámetros fisicoquímicos determinantes con los que se evaluó la calidad del cuerpo ambiental laguna Tinquicocha, la contaminación por metales pesados es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan al ambiente, además en nuestro país ya se tienen identificados los principales agentes contaminantes producidos por minería, estos también están establecidos por la Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA y que se comprueban con esta investigación en las épocas húmedas y secas del 2018 y húmeda 2019.

**Segundo.** En la determinación de los índices de calidad ambiental de las estaciones de monitoreo se observó que para el año 2018, la temporada seca en todas las estaciones de monitoreo obtuvieron un resultado de “excelente”, y para la temporada húmeda los puntos E-4A, L-1, L-3 y E-5 obtuvieron una calificación de “excelente”, sin embargo, el punto L-2 que se encuentra al centro del vertimiento de los efluentes sobre la laguna Tinquicocha obtuvo una calificación de “bueno”. Para el año 2019 temporada húmeda los puntos L-1, L-2, L-3 y E-5 obtuvieron una calificación de “excelente”, a su vez el punto E-4A obtuvo una calificación de “bueno”, este punto se encuentra a 50m. de las descargas de agua de mina tratadas, el agua en estas estaciones que obtuvieron la calificación de “bueno”, pueden presentar amenazas o daños de poca magnitud, a su vez, el transporte y/o dispersión de contaminantes es casi nulo (por el estado “excelente” de los demás puntos), por tanto, al no existir una afectación negativa en la laguna

Tinquicocha el centro poblado de Antacallanca y poblaciones aguas abajo no se verán afectadas en sus actividades agrícolas o de uso ganadero y cultural, ya que la calidad de agua de la laguna es apta para este tipo de actividades, esto evita la existencia de conflictos socio-ambientales con la empresa minera, a su vez las actividades se realizan al sur-este de las descargas de agua de mina tratada y a una considerable distancia. Y en caso de crecimiento de la mina o expansión de los centros poblados se debe dar una restricción a las zonas aledañas al punto E-4A que es el más cercano a las aguas de mina tratadas.

**Tercero.** Los resultados de los índices de calidad ambiental fisicoquímicos son ubicados y graficados en los mapas temáticos de forma representativa con asignación de colores de acuerdo a la calificación del ICA y realizados con la ayuda del software ArcGIS. Estos mapas permiten visualizar los resultados para cada época del año, pudiendo observar gráfica e intuitivamente las probables fuentes de contaminación por las cuales se obtuvo ese valor ICA en el punto de monitoreo del cuerpo agua. En estos mapas se observan las localizaciones y distancias geo-referenciadas entre estaciones y sus impactos en las áreas colindantes cuyos niveles excelentes de la calidad de las aguas de la laguna Tinquicocha hallados visualiza la aptitud agrícola y ganadera del entorno mapeado con una posible restricción sobre el punto E-4A que en caso de crecimiento de la mina elevaría la contaminación por encontrarse más cerca de las aguas de mina tratadas.

## RECOMENDACIONES

**Primero.** Se recomienda una evaluación periódica de los parámetros fisicoquímicos de los efluentes mineros en la estación de monitoreo E-4A ya que este es el más cercano al efluente minero, para verificar la calidad de dichos efluentes, y cumplan la normativa ambiental vigente.

**Segundo.** Se recomienda comunicar los resultados obtenidos de dicha evaluación a las comunidades cercanas al proyecto minero, indicando que la empresa está cumpliendo sus compromisos ambientales y así evitar posibles conflictos.

**Tercero.** Se recomienda trabajar con replicas en los posteriores muestreos de calidad de agua, ya que con estos se podrán comparar y verificar la veracidad y precisión al momento de obtener resultados, este factor comparativo nos permitirá llegar a mejores conclusiones de la realidad de la laguna Tinquicocha. Asimismo, hacer una estadística de los resultados obtenidos a lo largo de un tiempo determinado, a fin de consolidar y obtener datos más reales de las condiciones de la laguna.

**Cuarto.** Se recomienda utilizar distintas herramientas para realizar un análisis holístico de la laguna Tinquicocha donde se pueda observar la sinergia, el comportamiento colectivo y ordenado de los sistemas y fenómenos que se realizan en la laguna. Cuenta con un enfoque multidisciplinario ecosistémico que considera las componentes: ambiental (biofísica), sociopolítica y económica del sistema, por tanto, requiere información de varias disciplinas.

A pesar de la presencia de plantas y peces en la laguna Tinquicocha y que además estos pueden ser bioacumuladores de metales pesados, la presente investigación demuestra la aptitud de las aguas de la laguna Tinquicocha para riego y bebida de animales, por tanto no se está afectando en la cadena trófica, sin embargo se

recomienda realizar análisis y monitoreos biológicos como hidrobiológicos de la zona, a su vez que estos sean participes de un análisis holístico de la laguna.

Algunas herramientas que se pueden utilizar son:

Sistema de información geográfica *ArcGIS* versión 10.3. Permite generar mapas base específicos de topografía, suelos, vegetación, hidrología superficial de un número significativo de microcuencas. También genera mapas temáticos y de estratificación de clima, deforestación, erosión y sedimentación evaluada mediante muestras de unidades de suelo a las que se miden las variables fisicoquímicas, contaminación puntual y difusa, conservación del corredor fluvial, calidad y cantidad del caudal del río y agua del lago, caracterización trófica, composición, estructura y dinámica del plancton, contaminación por metales pesados y por compuestos orgánicos volátiles y no volátiles, y la toxicología del agua mediante el análisis de las cianobacterias (*Microsistis*), y de cultivos de la microalga *Pseudokirchneriella subcapitata*, el cladócono *Daphnia magna*, y la bacteria *Vibrio fischeri*.

El software *MapShed GIS-Based Watershed Modeling*, que es un modelo de simulación continua que integra los siguientes estudios a través de fórmulas. Las capacidades del modelo incluyen transporte de sedimentos y nutrientes, movimiento de patógenos, interacciones de flujo de agua urbana y evaluación de BMP. Permite:

Mapas de parámetros microbiológicos, hidrobiológicos y de parámetros orgánicos: granulometría, densidad aparente, textura, pH, materia orgánica, nitrógeno orgánico, fósforo asimilable, potasio, calcio, magnesio intercambiable, hierro, cobre, zinc, manganeso, la curva de retención de humedad y la

conductividad hidráulica., para evaluar el comportamiento de dichos parámetros en las aguas y prevenir de la eutrofización de la laguna Tinquicocha.

Mapas estratificados de análisis biológico, vegetación y uso de suelo, que registre información de los ecosistemas terrestre y acuático y determinación de las zonas de vida, donde encontraremos la flora y fauna presente en la laguna.

Mapas de descargas en las riveras del lago y el análisis de calidad del agua durante las 24 horas en distintos puntos de muestreo en épocas de lluvias y secas.

Mapas de registro del estudio limnológico que incluya los planos batimétricos del lago con los contornos de nivel calculados en forma tridimensional.

El software *BIM para ingeniería* que comprende *Civil 3D* y *Revit*, se recomienda para propuestas tecnológicas y de obras para el tratamiento de las aguas industriales y residuales de los afluentes a la laguna como perforaciones para la instalación de pozos de monitoreo para el estudio de la calidad de agua subterránea. Programa de acciones para la recuperación de la vegetación del corredor fluvial y de las subcuencas, así como la aplicación de prácticas y obras de conservación para regular escurrimientos superficiales, inducir la infiltración y la recarga, mejorar la capacidad biológica de los suelos para favorecer la calidad del agua de la laguna.

Finalmente, se recomiendan planes estratégicos y acciones ligadas a una serie de objetivos y metas generales científico-tecnológicas, pero también socio-económicas mediante consultas y reuniones de participación ciudadana a fin de jerarquizar los proyectos específicos para la solución de problemas prioritarios de los pueblos más cercanos y sus actividades económicas. Para el procesamiento de datos sobre las consultas a los grupos de interés a manera de encuestas, se recomienda utilizar el software estadístico *Stata 16.1* para datos cuantitativos,

mientras que para el análisis de las relaciones organizacionales sociales se recomienda aplicar el software *AtlasTi 9* para el manejo y gestión de datos cualitativos.





## BIBLIOGRAFÍA

- Alva, L. (2018). *Determinación de la calidad del agua de la Laguna Azul de Sauce para su uso según Estándares de Calidad Ambiental (ECAs (tesis para optar el título profesional))*. Universidad Nacional de San Martín. Moyobamba, Perú.
- Alvarez et ál. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnostico y predicción. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, pág. 71-83. Argentina.
- Alianza Mundial de Derecho Ambiental. (2010). Guía para evaluar EIAs de proyectos mineros, pág. 3-20. Eugene, USA.
- Astete, J. et al (2009). Intoxicación por plomo y otros problemas en la salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros. Lima, Perú. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*.
- Autoridad Nacional de Agua (2018). *R.J. 056-2018-ANA, clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales*. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional de Agua (2018). *R.J. 068-2018-ANA, Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA.PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales*. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional de Agua (2015). *R.J. 319-2015-ANA, Guía para realizar inventarios de fuentes naturales de agua superficial*. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima, Perú.
- Basílico et ál. (2015). Adaptación de índices de calidad de agua y de riberas para la evaluación ambiental en dos arroyos de la llanura pampeana. En: *Revista del museo argentino de ciencias naturales*. Vol. 17.
- Beltrán–A. R., J. Sánchez–Palacios & J. P. Ramírez–Lozano. (2011). *Comportamiento de la temperatura y el oxígeno disuelto en la presa Picachos, Sinaloa, México*. Hidrobiológica vol.22 no.1 Ciudad de México ene./abr. 2012
- Bermejo E. (2014). *¿Qué es la tecnología ArcGIS?*. Recuperado de [¿QUÉ ES LA TECNOLOGÍA ARCGIS? \(geoinnova.org\)](http://www.geoinnova.org)
- Berrosipi, O. (2020). *Influencia del efluente en la concentración de metales pesados de la*

- Laguna Naticocha Norte – Huayllay – Pasco, 2019-2020 (tesis para optar el título profesional)*. Universidad de Huánuco. Huánuco, Perú.
- Capacoila, J. (2018). *Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del Río Coata (tesis para optar el título profesional)*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Capnet (2008). *Aspectos económicos en la gestión sostenible del agua: manual de capacitación y guía para moderadores*. Recuperado de <http://www.capnet/esp.org/fckuploads/Manual%20aspectos%20economicos.pdf>
- Chávez U. (2018). *Determinación del índice de calidad del agua de consumo humano, del centro poblado de Agua Fresca, distrito de Chontabamba – 2018*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Cerro de Pasco, Perú.
- Claros, E., Cipriano, J., Cabello, J., Chirito, S., Ramirez, F., Leon, R., Ramos, K., Alberro, Y. (s.f). *Modelación de la dispersión de contaminantes del agua de la cuenca del Rio Huaura – 2017*. Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrión. Huacho.
- Coello J., Ormaza R., Déley A., Recalde C y Ríos A. (2013). *Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacochó – Parque Nacional Sangay – Ecuador*. Ecuador.
- Chow Ven Te, Maidment David R., Mays Larry W. (1994) *Applied hydrology*. México D.F., México. McGraw-Hill Education. 2Ed.
- Delgado M. (2004) *caracterización de los niveles de metales pesados en efluentes industriales de la ciudad de Guayaquil (tesis para obtener el grado de Doctora en Química y Farmacia)*. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Químicas, Guayaquil. 2004.
- Díaz, A., Sotomayor, L. (2013). *Evaluación de la eutrofización de la Laguna Conococha – Ancash a agosto de 2012 (tesis para optar el título profesional)*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Ancash, Perú.
- Echarri, P. (1998). *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*. Obtenido de <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/Principal.html>
- Eróstegui, C. (2009). Contaminación por metales pesados / *Entrevistado por Karla Romero*. Revista Científica Ciencia Médica.

- Flores, H. (2016). *Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera (tesis para optar por le grado de magister)*. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Forbes, S. A. (1987) *The lake as a microcosm*, bull. Sci. Ass., pág. 77-87.
- Glave, M., Kuramoto, J. (2002). Minería, minerales y desarrollo sustentable. Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE). Pág 552.
- Gonzales, J. (2012) *Nivel de contaminación por metales pesados (Pb, Cu, Hg, As y Fe) en el río El toro, distrito de Huamachuco de la provincia de Sanchez Carrión durante año 2009-2010 (tesis para optar el grado de Magister)*. Universidad Nacional de Trujillo, Escuela de Postgrado, Trujillo.
- Gonzales, R. (2018). *Análisis y evaluación de la calidad de agua para consumo humano y propuesta de tecnología apropiada para la su desinfección a escala domiciliaria, de las fuentes de agua Macashca, Huaraz – Ancash, 2016-2018 (tesis para optar el título universitario)*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Ancash, Perú.
- Fernández, N., Ramírez, A., & Solano, F. (2003). *Índices Fisicoquímicos de Calidad del Agua Un Estudio Comparativo*. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible, (págs. 211-219). Cali.
- Huamancayo, G. (2019). Parámetros fisicoquímicos del agua de la Laguna de los Milagros del distrito de Pueblo Nuevo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- Huaranga, F., Méndez, E., Quilcat, V., Huaranga, A. (2012). *Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980-2010, La Libertad - Perú*. Scientia Agropecuaria, (págs. 235-247). Trujillo.
- Jimeno, B. (1998). *Análisis de agua y desagüe*. (Segunda ed.). Lima: Banco de Libros. Dirección de Bienestar Universitario.
- Kubitza, F. (2017). *El parámetro de calidad del agua a menudo ignorado: pH*. Obtenido de <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/el-parametro-de-calidad-del-agua-a-menudo-ignorado-ph/>
- LarrainVial (2011). *Minería en el Perú: realizada y perspectivas*. Lima, Perú. Editora El Comercio S.A.

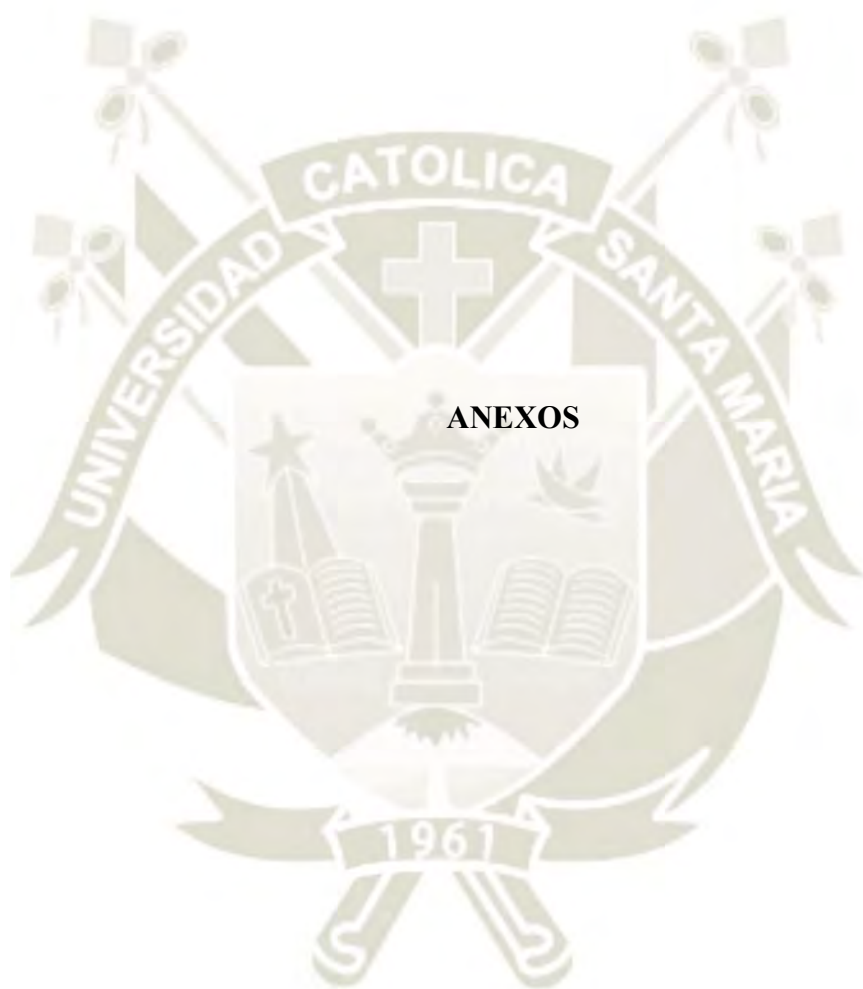
- Lopez A. (2018). *Evaluación de la Calidad de Agua respecto a Metales Pesados presentes en el río Tambo provincia de Islay 2016 – 2018*. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Lopez C. (2017). *Evaluación del índice de calidad de agua de la bocatoma del río Cumbaza del distrito de Morales San Martín 2017*. Universidad Peruana Union Tarapoto, Perú.
- Marín R. (2003) *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas*. Madrid. Ediciones Díaz de Santos S.A.
- Medina, L., Castañeda, J., Fermín, I., Pérez, G., & López, F. (2013). *Variación espacio-temporal del caudal y el transporte de nutrientes en el río Manzanares*. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 52(2), 9.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Primera impresión. Autoridad Nacional de Agua.
- Monteagudo M. (2015). *Análisis comparativo de los índices de calidad de agua de los ríos Lampa y Cabanillas*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Moreno J. (2015). *Índice de calidad del agua (ICA) en el sistema de abastecimiento de agua potable rural centro poblado de Paria Willcahuain – Independencia*. Universidad Nacional Santiago Antuñez de Mayolo. Ancash, Perú.
- Osores, F. Grandez, A. Fernandez, J. (2010). Mercurio y salud en Madre de Dios, En: *Revista Acta Médica Peruana*. Perú, Artículo de revisión
- Pari, D. (2017). *Efectos de los relaves mineros en la calidad del agua del río Ananea – (tesis para optar el título profesional)*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Peña, S., Araya, P. (2021). Aguas de contacto, efectos en la minería y el medioambiente. Revista de la Facultad de Derecho. Recuperado de <http://www.scielo.edu.uy/pdf/rfd/n50/2301-0665-rfd-50-e106.pdf>
- Pérez K. (2017). *Determinación del índice de calidad del agua del Río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales – OMO, durante el periodo 2014-2015*. Universidad José Carlos Mariátegui. Moquegua, Perú.

- Red Muqui. (2014). Propuesta de políticas públicas para una nueva minería en el Perú. Grupo Propuesta Ciudadana. Lima, Perú.
- S. E. Pabón, R. Benítez, R. A. Sarria-Villa & J. A. Gallo. (2020). *Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión*. Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 14, no. 27, enero-junio de 2020, páginas 9-18.
- Saavedra, L. (2019). *Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad del agua en el río Llaucano de la ciudad de Bambamarca (tesis para optar el título profesional)*. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Samanez I., Rimarachin V., Palma C., Arana J., Ortega H., Correa V. y Hidalgo M. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. Departamento de Limnología, Departamento de Ictiología*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Sánchez, S., Chávez, J., Lucio, L. (2015). *Pasivos ambientales mineros en la región Cajamarca*. Grupo de Formación e Intervención para el Desarrollo Sostenible.
- Sierra R., Carlos A. (2011). *Calidad de agua, evaluación y diagnóstico*. Universidad de Medellín, Medellín, Colombia. Ediciones de la U.
- Sánchez, J. (2001). *El agua en el suelo*. Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca. Salamanca, España. [Web.usual.es/~javisan/hidro/temas/T040](http://Web.usual.es/~javisan/hidro/temas/T040).
- Torres Vega F. (2009) *Desarrollo y aplicación de un índice de calidad de agua para ríos en puerto rico*. Puerto rico.
- Torres et ál. (2009). *Índice de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua de consumo humano. Una revisión crítica*. En: *Revista de ingenierías*, Universidad de Medellin. Vol 8
- Velarde Paz. (2016). *Índice de calidad de agua superficial del río Chili en el sector de Sachaca-Tiabaya-Huayco*. Arequipa, Perú. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Vernier (2006). *Ciencias con lo mejor de Vernier*. Primera Edición. Vernier Internacional

Inc. Sarasota, Estados Unidos.

Zegarra Méndez, Eduardo (2014). *Economía del agua: conceptos y aplicaciones para una mejor gestión*. Lima, Perú. GRADE.





ANEXO 1

RESOLUCION JEFATURAL N° 068-2018-ANA

CUT: 168494



RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 068 -2018-ANA

Lima, 21 FEB. 2018

VISTOS:

El Informe Técnico N° 033-2018-ANA-DCERH/AESFRH de la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos y el Informe Legal N° 127-2018-ANA-OAJ de la Oficina de Asesoría Jurídica; y,



CONSIDERANDO:

Que, la Ley N° 28511, Ley General del Ambiente, define el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; y que resulta obligatorio en el diseño de normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;



Que, la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, en el artículo 76° establece que la Autoridad Nacional del Agua en coordinación con el Consejo de Cuenca, en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales, controla, supervisa, fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los ECA Agua, y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por la autoridad del ambiente;



Que, mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM se aprueba los ECA para agua, y se establece que en cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua, fuera de la zona de mezcla;

Que, conforme al literal h) del artículo 38° del Reglamento de Organización y Funciones de esta Autoridad, aprobado por Decreto Supremo N° 018-2017-MINAGRI, la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos, es la encargada de evaluar los resultados del monitoreo de la calidad de las fuentes naturales del agua a cargo de los órganos desconcentrados;



Que, mediante Resolución Jefatural N° 294-2017-ANA, se dispuso la publicación del documento denominado "Metodología para la determinación del Índice de calidad de agua para los recursos hídricos superficiales en el Perú ICA-PE", por el plazo de quince (15) días hábiles, a fin que los interesados remitan sus opiniones y sugerencias;

Que, luego del análisis de los aportes recibidos, la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos con Informe Técnico N° 033-2018-ANA-DCERH/AESFRH, propone aprobar la "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales", como indicador ambiental que facilitará la interpretación del estado de la calidad del agua, sobre la base de los valores de los parámetros de las categorías de los ECA para Agua, permitiendo transformar datos en una escala de medición, lo cual permite expresar la condición o estado de la calidad del agua y transmitir dicha información de manera sencilla, práctica y de fácil interpretación al





público en general;

Que, la Oficina de Asesoría Jurídica con Informe Legal N° 127-2018-ANA-OAJ, opina que es viable la aprobación de la metodología propuesta;



Que, en ese contexto, resulta necesario aprobar la "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales"

Que, estando a lo anterior y con los vistos de la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos, de la Oficina de Asesoría Jurídica y de la Secretaría General, y en usos de las facultades conferidas en el artículo 12° del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua, aprobado por Decreto Supremo N° 018-2017-MINAGRI;



**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.-** Aprobar la "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales", documento que como Anexo forma parte integrante de la presente Resolución.

**Artículo 2°.-** Disponer la publicación de la presente resolución en el Diario Oficial El Peruano, así como la "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales" y sus anexos en el Portal Institucional de la Autoridad Nacional del Agua. ([www.ana.gob.pe](http://www.ana.gob.pe))

Regístrese, comuníquese y publíquese



**ABELARDO DE LA TORRE VILLANUEVA**

Jefe

Autoridad Nacional del Agua

ANEXO 2

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL TEMPORADA HÚMEDA AÑO 2018.

PUNTOS DE MONITOREO				E-4A				L-1				L-2				L-3				E-5			
Parámetros a Evaluar-CCME-WQI		Unid.	ECA	ENE	FER	MAR	ABR	ENE	FER	MAR	ABR	ENE	FER	MAR	ABR	ENE	FER	MAR	ABR	ENE	FER	MAR	ABR
			Cat. 3-D2																				
Parámetros Físico-Químicos	pH	pH	6,5   8,4	7,89	7,8	8,53	8	8,52	8,52	7,96	8,24	8,05	8,69	7,95	8,61	8,35	8,02	8,3	8,17	8,15	8,17	8,02	8,22
	Conductividad	µS/cm	5000	947	939	939	1021	692	528	671	523	666	696	581	657	623	536	634	619	654	647	672	663
	OD	mg/L	≥5	6,49	5,91	6,7	7,04	9,8	6,81	2,9	8,63	8,05	7,58	2,8	8,97	9,77	5,62	2,74	7,01	6,42	6,81	2,8	6,85
	DBO <sub>5</sub>	mg/L	15					2	13	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Parámetros inorgánicos	Aluminio	mg/L	5	0,01	<0,002	0,094	0,098	<0,002	<0,002	<0,002	0,029	0,067	0,039	0,294	0,012	0,02	<0,002	0,028	0,013	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
	Arsénico	mg/L	0,2	0,0538	0,05252	0,05191	0,05167	0,03725	0,0251	0,026	0,02729	0,01884	0,0327	0,03272	0,0294	0,03688	0,0197	0,03321	0,0244	0,02678	0,0254	0,02721	0,02507
	Boro	mg/L	5	0,134	0,137	0,107	0,117	0,075	0,039	0,049	0,036	0,005	0,066	0,047	0,056	0,042	0,043	0,057	0,041	0,056	0,059	0,049	0,044
	Cadmio	mg/L	0,05	0,00141	0,00246	0,00409	0,00315	0,00046	0,00038	0,00031	0,00031	<0,00001	0,00046	0,00074	0,00061	0,00037	0,00039	0,00056	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00034
	Cobre	mg/L	0,5	0,00368	0,00589	0,07447	0,06845	0,0032	0,00119	0,00062	0,0022	0,007	0,0029	0,01243	0,00163	0,00297	0,00081	0,0019	0,0014	0,00076	0,00075	0,00059	0,00098
	Manganeso	mg/L	0,2	0,09282	0,09796	0,22738	0,1932	0,02316	0,0119	0,00886	0,01756	0,01462	0,02372	0,08549	0,02036	0,02994	0,00629	0,017	0,0137	0,0071	0,00764	0,00809	0,00903
	Mercurio	mg/L	0,01	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00005	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
	plomo	mg/L	0,05	0,0068	0,0134	0,0306	0,0202	0,0022	0,0017	0,0013	0,0025	0,0186	0,016	0,0814	0,0036	0,0125	0,0021	0,0093	0,003	<0,0002	0,0005	0,0005	0,0008
Zinc	mg/L	24	0,5427	0,8576	1,4780	1,1300	0,1409	0,197	0,171	0,131	0,0491	0,1514	0,2355	0,232	0,1482	0,148	0,1131	0,215	0,1406	0,1434	0,1718	0,165	
DATOS	Número de parámetros que no cumplen			2				2				3				1							
	Número total de parámetros a evaluar			13				13				13				13							
	Número de datos que no cumplen el ECA			2				2				4				2							
	Número total de datos			48				52				52				52							

CÁLCULOS DE LOS FACTORES DEL ICA-PE EXCEDENTES DE CADA PARÁMETRO EN CADA MONITOREO	F1		15,38461538				15,38461538				23,07692308				7,692307692				7,692307692					
	F2		4,166666667				3,846153846				7,692307692				3,846153846				1,923076923					
	pH	pH			-0,01524033				-0,01408451					-0,03337169				-0,02439024						
	Conductividad	µS/cm																						
	OD	mg/L								0,72413793					0,78571429									0,78571429
	DBO <sub>5</sub>	mg/L																						
	Aluminio	mg/L																						
	Arsénico	mg/L																						
	Boro	mg/L																						
	Cadmio	mg/L																						
Cobre	mg/L																							
Manganeso	mg/L				0,1369																			
Mercurio	mg/L																							
plomo	mg/L													0,628										
Zinc	mg/L																							
Sumatoria de los excedentes				0,002534576				0,013654874				0,026076007				0,015861875				0,01510989				
F3				0,252816866				1,34709297				2,541332861				1,561420478				1,48849797				
ICA-CCME				90,79653294				90,8113485				85,87939627				94,95346551				95,34219477				
				EXCELENTE				EXCELENTE				BUENO				EXCELENTE				EXCELENTE				



ANEXO 4

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL TEMPORADA HUMEDA AÑO 2019

PUNTOS DE MONITOREO			E-4A					L-1					L-2					L-3					E-5						
Parámetros a Evaluar-CCME-WQI	Unid.	ECA	DIC	ENE	FER	MAR	ABR	DIC	ENE	FER	MAR	ABR	DIC	ENE	FER	MAR	ABR	DIC	ENE	FER	MAR	ABR	DIC	ENE	FER	MAR	ABR		
		Cat. 3-D2																											
Parámetros Físico-Químicos	pH	pH	6,5	8,4	7,91	8,23	8,72	8,3	8,46	8,49	8,49	8,34	7,9	7,74	8,42	8,19	8,28	8,3	8,19	8,42	7,9	8,38	8,45	8,26	8,33	8,39	8,13	8,12	8,14
	Conductividad	µS/cm	5000		517	1027	876	980	870	391	656	567	310	320	345	569	613	299	530	345	486	497	296	560	346	639	608	612	612
	OD	mg/L	≥5		6,09	6,82	7,23	6,8	7,21	7,4	7,31	8,32	5,89	7,07	7,55	6,7	6,89	6,75	6,8	7,55	6,59	7,18	6,66	6,66	7,09	6,86	6,83	6,72	6,99
	DBO <sub>5</sub>	mg/L	15						<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Parámetros inorgánicos	Aluminio	mg/L	5		0,009	0,358	0,153	0,104	0,063	0,007	0,021	<0,002	0,041	<0,002	0,126	0,421	0,031	0,05	0,029	0,014	0,155	0,031	0,076	0,051	<0,004	<0,002	<0,002	0,011	0,008
	Arsénico	mg/L	0,2		0,05227	0,05154	0,05177	0,04191	0,04988	0,03249	0,02995	0,029	0,03189	0,01518	0,0848	0,03396	0,02795	0,0355	0,02233	0,03026	0,03032	0,0299	0,03731	0,02666	0,02434	0,02632	0,02413	0,02536	0,02304
	Boro	mg/L	5		0,136	0,113	0,131	0,119	0,136	0,067	0,041	0,02557	0,03	0,006	0,064	0,042	0,045	0,03	0,037	0,054	0,039	0,042	0,03	0,06	0,048	0,036	0,045	0,031	0,051
	Cadmio	mg/L	0,05		0,00192	0,00656	0,00524	0,00564	0,00245	0,0007	0,00063	0,00056	0,00061	<0,00001	0,00204	0,00088	0,00062	0,00065	0,00058	0,00062	0,00052	0,0005	0,00073	0,00068	<0,00002	0,00033	0,00033	<0,00001	<0,00001
	Cobre	mg/L	0,5		0,00323	0,32309	0,12133	0,05792	0,03296	0,00121	0,00197	0,00331	0,00292	0,0004	0,00729	0,01372	0,00262	0,00338	0,00346	0,00147	0,00507	0,00191	0,00466	0,00453	0,00078	0,00076	0,00076	0,00094	0,00116
	Manganeso	mg/L	0,2		0,08626	0,32094	0,26683	0,40827	0,14735	0,00988	0,01334	0,04597	0,04736	0,00758	0,08842	0,02179	0,04751	0,06929	0,01945	0,13886	0,02741	0,06617	0,03379	0,00759	0,00864	0,00806	0,00967	0,01588	
	Mercurio	mg/L	0,01		<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
	plomo	mg/L	0,05		0,007	0,0468	0,0581	0,0285	0,0233	0,0031	0,0072	0,008	0,0088	0,0005	0,071	0,0649	0,0065	0,0131	0,006	0,0048	0,0176	0,0045	0,0236	0,0093	0,001	0,0007	0,0006	0,0007	0,0008
	Zinc	mg/L	24		0,60920	2,06700	1,46700	1,47400	0,77260	0,27660	0,2294	0,1593	0,2161	0,0122	0,45880	0,2631	0,251	0,2019	0,2045	0,24010	0,1829	0,1685	0,2254	0,2569	0,16080	0,1466	0,1601	0,1739	0,1589
DATOS	Número de parámetros que no cumplen				3					1					2					2								1	
	Número total de parámetros a evaluar				13					13					13						13							13	
	Número de datos que no cumplen el ECA				6					2					3						5							5	
	Número total de datos				60					65					65						65							65	

CÁLCULO DE LOS FACTORES DEL ICA, PE EXCEDENTES DE CADA PARAMETRO EN CADA MONITOREO	F1		23,07692308					7,692307692					15,38461538					15,38461538					7,692307692						
	F2		10					3,076923077					4,615384615					7,692307692					7,692307692						
pH	pH				-0,03669725				-0,0070922		-0,01060071	-0,01060071																	
Conductividad	µS/cm																												
OD	mg/L																												
DBO <sub>5</sub>	mg/L																												
Aluminio	mg/L																												
Arsénico	mg/L																												
Boro	mg/L																												
Cadmio	mg/L																												
Cobre	mg/L																												
Manganeso	mg/L				0,6047		0,33415		1,04135																				
Mercurio	mg/L																												
plomo	mg/L					0,162								0,42	0,298														
Zinc	mg/L																												
Sumatoria de los excedentes					0,034973509						-0,000326176			0,011009611						-0,000127576							0		
F3					3,379169507						-0,032628202			1,088971925						-0,012759253							0		
ICA-CCME					85,3489117						95,2166916			90,70530572						90,06927074							93,71925707		
					BUENO						EXCELENTE			EXCELENTE						EXCELENTE							EXCELENTE		

ANEXO 5

REPORTES DE MONITOREO

AUTORIZACIÓN DE VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS  
 REPORTE DE MONITOREO EN LOS PUNTOS DE CONTROL DEL EFLUENTE TRATADO Y CUERPO RECEPTOR


Número de la Resolución Directoral que Autoriza Vertimiento : R.D.-0173-2015-ANA-DGCRH  
 Razón Social del Titular de la Autorización : COMPAÑIA MINERA RAURA S.A.  
 RUC del Titular de la Autorización : 20100163552  
 Fecha de Muestreo (DD/MM/AÑO) : 12/03/2018  
 Nombre del Laboratorio de Análisis : ALS LS PERU S.A.C.  
 Número del Informe de Ensayo Analítico : 12266/2018

Código del Punto de Control			E-04-A	E-6	L-1	L-2	L-3	
Coordenada Norte (UTM-WGS84)		m	8846066.00	8847741.00	8816167.00	8846237.00	8846426.00	
Coordenada Este (UTM-WGS84)		m	309788.00	310058.00	310016.00	309964.00	309894.00	
Hora de Muestreo		hh:mm (24h)	15:00	17:15	15:35	16:00	16:40	
Caudal de aguas residuales		L/s	135.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Volumen		m³	36595.2000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
PARÁMETROS			E-04-A	E-6	L-1	L-2	L-3	
Parámetros Físicos	Parámetros Físicos	Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días	mg O2 /L	-2	-2	-2	-2	
		Demanda Química de Oxígeno	mg O2 /L		13	4	8	7
		Oxígeno Disuelto	mg O2 /L		2,8	2,9	2,8	2,74
		pH	Unidad de pH	8,53	8,02	7,96	7,95	8,3
		Sólidos Disueltos Totales	mg/L	454	454	450	376	446
		Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	5	-2	-2	34	10
Parámetros Inorgánicos	Parámetros Inorgánicos	Bario	mg/L		0,0083	0,0079	0,0123	0,0077
		Cianuro Libre	mg/L		<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006
		Cianuro Total	mg/L	<0,001				
		Selenio	mg/L		<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
	Nutrientes	Nitratos	mg N/L		0,084	0,117	0,068	0,064
		Nitrógeno total	mg N/L		0,192	0,142	0,122	0,092
	Metales y metaloides	Arsénico total	mg/L	0,05191	0,02721	0,026	0,03272	0,03321
		Cadmio total	mg/L	0,00409	<1e-005	0,00031	0,00074	0,00039
		Cobre total	mg/L	0,07447	0,00069	0,00062	0,01243	0,0019
		Cromo Hexavalente	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
		Hierro disuelto	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0,013	0,0205
		Mercurio total	mg/L	<3e-005	<3e-005	<3e-005	<3e-005	<3e-005
		Níquel total	mg/L		<0,0002	<0,0002	0,0012	0,0006
		Piomo total	mg/L	0,0306	0,0005	0,0013	0,0614	0,0093
Zinc total	mg/L	1,478	0,1718	0,171	0,2355	0,1131		
Parámetros Orgánicos	Parámetros Orgánicos	Aceites y grasas (MEH)	mg/L	<1	<1	<1	<1	

Observaciones:

No se pueden ingresar los valores para Cromo. Para los puntos L-1, L-2, L-3 y E-6 el valor resultado del análisis es <0.0001 mg/L.

Representante del Titular de la Autorización



Firma

AUTORIZACIÓN DE VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS  
 REPORTE DE MONITOREO EN LOS PUNTOS DE CONTROL DEL EFLUENTE TRATADO Y CUERPO RECEPTOR

Número de la Resolución Directoral que Autoriza Vertimiento : R.D.-0173-2015-ANA-DGCRH  
 Razón Social del Titular de la Autorización : COMPAÑIA MINERA RAURA S.A.  
 RUC del Titular de la Autorización : 20100163552  
 Fecha de Muestreo (DD/MM/AÑO) : 22/05/2018  
 Nombre del Laboratorio de Análisis : ALS LS PERU S.A.C.  
 Número del Informe de Ensayo Analítico : 27943/2018

Código del Punto de Control			E-04-A	E-6	L-1	L-2	L-3	
Coordenada Norte (UTM-WGS84)		m	8846066.00	8847741.00	8816167.00	8846237.00	8846426.00	
Coordenada Este (UTM-WGS84)		m	309788.00	310058.00	310016.00	309964.00	309894.00	
Hora de Muestreo		hh:mm (24h)	17:20	16:40	16:10	15:30	14:50	
Caudal de aguas residuales		L/s	143.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Volumen		m³	383935.6800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
PARÁMETROS			E-04-A	E-6	L-1	L-2	L-3	
Parámetros Físicos	Parámetros Físicos	Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días	mg O2 /L		<2	<2	<2	<2
		Demanda Química de Oxígeno	mg O2 /L		<2	<2	<2	<2
		Oxígeno Disuelto	mg O2 /L		7,19	9,07	8,33	7,08
		pH	Unidad de pH	7,14	8,15	8,93	7,38	8,55
		Sólidos Disueltos Totales	mg/L		<526	560	520	<2
	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<2	<2	3	<2	<2	
Parámetros Inorgánicos	Parámetros Inorgánicos	Bario	mg/L		0,008	0,0081	0,0074	0,0082
		Cianuro Libre	mg/L		<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006
		Cianuro Total	mg/L	<0,001				
		Selenio	mg/L		<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
		Nitratos	mg N/L		0,047	0,047	<0,002	0,06
	Metales y metaloides	Nitrogeno total	mg N/L		0,055	0,06	0,105	0,069
		Arsénico total	mg/L	0,0559	0,02593	0,03821	0,02983	0,03048
		Cadmio total	mg/L	0,00138	0,0004	0,00056	<1e-005	0,00073
		Cobre total	mg/L	0,00631	0,00083	0,00367	0,00135	0,00189
		Cromo Hexavalente	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
		Hierro disuelto	mg/L	0,0226	<0,0004	0,0259	0,0165	<0,0004
		Mercurio total	mg/L	<3e-005	<3e-005	<3e-005	<3e-005	<3e-005
		Niquel total	mg/L		0,0006	0,0007	0,0005	0,0007
		Piomo total	mg/L	0,0098	<0,0002	0,0187	<0,0002	0,0016
		Zinc total	mg/L	0,5885	0,1767	0,1902	0,1731	0,2855
Parámetros Orgánicos	Parámetros Orgánicos	Acetatos y grasas (MEH)	mg/L	<1	<1	<1	<1	

Observaciones:

No se pueden Ingresar los valores para Cromo. Para los puntos L-1, L-2, L-3 y E-6 el valor resultado del análisis es <0.0001 mg/L .

Representante del Titular de la Autorización



Firma



AUTORIZACIÓN DE VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS  
 REPORTE DE MONITOREO EN LOS PUNTOS DE CONTROL DEL EFLUENTE TRATADO Y CUERPO RECEPTOR

Número de la Resolución Directoral que Autoriza Vertimiento : R.D.-0173-2015-ANA-DGCRH  
 Razón Social del Titular de la Autorización : COMPAÑIA MINERA RAURA S.A.  
 RUC del Titular de la Autorización : 20100163552  
 Fecha de Muestreo (DD/MM/AÑO) : 10/07/2018  
 Nombre del Laboratorio de Análisis : ALS LS PERU S.A.C.  
 Número del Informe de Ensayo Analítico : 38833/2018

Código del Punto de Control			E-04-A	E-6	L-1	L-2	L-3			
Coordenada Norte (UTM-WGS84)		m	8846096.00	8847741.00	8816167.00	8846237.00	8846426.00			
Coordenada Este (UTM-WGS84)		m	309788.00	310055.00	310016.00	309964.00	309894.00			
Hora de Muestreo		hh:mm (24h)	11:30	11:00	09:35	10:15	08:55			
Caudal de aguas residuales		L/s	118.9000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
Volumen		m³	306408.9600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
PARÁMETROS										
Parámetros Físicos	Parámetros Físicos	Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días	mg O2 /L	<2	<2	<2	<2			
		Demanda Química de Oxígeno	mg O2 /L		18	9	5	16		
		Oxígeno Disuelto	mg O2 /L		0,41	6,1	6,61	5,81		
		pH	Unidad de pH	7,89	8,2	8,49	7,91	8,15		
		Sólidos Disueltos Totales	mg/L		490	570	456	536		
		Sólidos Suspensos Totales	mg/L	<2	<2	5	<2	<2		
Parámetros Inorgánicos	Parámetros Inorgánicos	Bario	mg/L		0,0076	0,0087	0,0056	0,0094		
		Cianuro Libre	mg/L		<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006		
		Cianuro Total	mg/L	<0,001						
		Selenio	mg/L		<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004		
	Nutrientes	Nitratos	mg N/L		0	0,074	<0,002	0,087		
		Nitrógeno total	mg N/L		0,073	0,093	0,028	0,101		
	Metales y metaloides	Arsénico total	mg/L	0,05762	0,02584	0,04053	0,02466	0,03403		
		Cadmio total	mg/L	0,00072	<1e-005	0,00076	0,00052	0,00081		
		Cobre total	mg/L	0,00325	0,00084	0,0045	0,00156	0,00219		
		Cromo Hexavalente	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002		
		Hierro disuelto	mg/L	0,0133	<4e-005	0,0246	0,0134	0,0105		
		Mercurio total	mg/L	<3e-005	<3e-005	<3e-005	<3e-005	<3e-005		
		Níquel total	mg/L		<0,0002	<0,0002	0,0008	<0,0002		
		Plomo total	mg/L	0,005	<0,0002	0,0237	0,0022	0,0037		
		Zinc total	mg/L	0,361	0,1836	0,2843	0,2396	0,3253		
		Parámetros Orgánicos	Parámetros Orgánicos	Aceites y grasas (MEH)	mg/L	<1	<1	<1	<1	<1

Observaciones:

No se pueden Ingresar los valores para Cromo. Para los puntos L-1, L-2, L-3 y E-6 el valor resultado del análisis es <0.0001 mg/L .

Representante del Titular de la Autorización

Firma



**AUTORIZACIÓN DE VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS  
REPORTE DE MONITOREO EN LOS PUNTOS DE CONTROL DEL EFLUENTE TRATADO Y CUERPO RECEPTOR**

Número de la Resolución Directoral que Autoriza Vertimiento : R.D.-0173-2015-ANA-DGCRH  
 Razón Social del Titular de la Autorización : COMPAÑÍA MINERA RAURA S.A.  
 RUC del Titular de la Autorización : 20100163552  
 Fecha de Muestreo (DD/MM/AÑO) : 20/10/2018  
 Nombre del Laboratorio de Análisis : ALS LS PERU S.A.C.  
 Número del Informe de Ensayo Analítico : 63360/2018

Código del Punto de Control			E-04-A	E-6	L-1	L-2	L-3			
Coordenada Norte (UTM-WGS84)		m	8846066.00	8847741.00	8816167.00	8846237.00	8846426.00			
Coordenada Este (UTM-WGS84)		m	309788.00	310058.00	310016.00	309954.00	309894.00			
Hora de Muestreo		hr:mm (24h)	14:30	13:30	13:30	14:00	14:15			
Caudal de aguas residuales		L/s	95.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
Volumen		m <sup>3</sup>	320551.7760	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
PARÁMETROS			E-04-A	E-6	L-1	L-2	L-3			
Parámetros Físicos	Parámetros Físicos	Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días	mg O2 /L	<2	<2	<2	<2			
		Demanda Química de Oxígeno	mg O2 /L	<2	<2	<2	<2			
		Oxígeno Disuelto	mg O2 /L	8.06	8.25	8.15	8.31	8.56		
		pH	Unidad de pH	8.06	8.25	8.15	8.31	8.56		
		Sólidos Disueltos Totales	mg/L	542	542	542	520	544		
		Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<2	<2	<2	6			
Parámetros Inorgánicos	Parámetros Inorgánicos	Bario	mg/L	0,0075	0,0073	0,0103	0,0084			
		Cianuro Libre	mg/L	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006			
		Cianuro Total	mg/L	<0,001						
		Selenio	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<4e-005			
		Nitrosos	mg NIL	0,028	0,061	0,051	0,048			
			Nitrogeno total	mg NIL	0,075	0,127	0,077	0,137		
	Mezclas y metales	Mezclas y metales	Arsénico total	mg/L	0,05947	0,0261	0,03333	0,03124	0,03651	
			Cadmio total	mg/L	0,00079	<1e-005	0,00041	0,00063	0,00065	
			Cobre total	mg/L	0,00269	0,00183	0,00164	0,00351	0,00332	
			Cromo Hexavalente	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	
			Hierro disuelto	mg/L	0,0139	<0,0004	0,0063	0,106	0,0114	
			Mercurio total	mg/L	<3e-005	<3e-005	<3e-005	<3e-005	<3e-005	
			Niquel total	mg/L		0,0013	0,0006	0,0006	0,0008	
			Piomo total	mg/L	0,0049	0,0004	0,003	0,0115	0,016	
					Zinc total	mg/L	0,2362	0,151	0,1442	0,2169
Parámetros Orgánicos			Parámetros Orgánicos	Aceites y grasas (MEH)	mg/L	<1	<1	<1	<1	

Observaciones:

No se pueden ingresar los valores para Cromo. Para los puntos L-1, L-2, L-3 y E-6 el valor resultado del analisis es <0.0001 mg/L ..

Representante del titular de la Autorización

Firma





**AUTORIZACIÓN DE VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS  
 REPORTE DE MONITOREO EN LOS PUNTOS DE CONTROL DEL EFLUENTE TRATADO Y CUERPO RECEPTOR**

Número de la Resolución Directoral que Autoriza Vertimiento : R.D.-0173-2015-ANA-DGCRH  
 Razón Social del Titular de la Autorización : COMPAÑIA MINERA RAURA S.A.  
 RUC del Titular de la Autorización : 20100163552  
 Fecha de Muestreo (DD/MM/AÑO) : 12/03/2019  
 Nombre del Laboratorio de Análisis : ALS LS PERU S.A.C.  
 Número del Informe de Ensayo Analítico : 15595/2019

Código del Punto de Control			E-04-A	E-6	L-1	L-2	L-3	
Coordenada Norte (UTM-WGS84)			m	8846066.00	8847741.00	8816167.00	8846237.00	8846426.00
Coordenada Este (UTM-WGS84)			m	309788.00	310058.00	310016.00	309964.00	309894.00
Hora de Muestreo			hh:mm (24h)	09:00	10:15	10:00	10:15	10:40
Caudal de aguas residuales			L/s	142.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Volumen			m <sup>3</sup>	392564.1600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
PARAMETROS								
Parámetros Físicos	Parámetros Físicos	Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días	mg O2 /L		-2	-2	-2	-2
		Demanda Química de Oxígeno	mg O2 /L		-2	-2	-2	4
		Oxígeno Disuelto	mg O2 /L		6.72	5.89	6.75	6.66
		pH	Unidad de pH	8,6	8,12	7,9	8,3	8,45
		Sólidos Disueltos Totales	mg/L		456	444	404	448
		Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	5	-2	3	9	8
Parámetros Inorgánicos	Parámetros Inorgánicos	Bario	mg/L		0,008	0,0076	0,0077	0,0073
		Cianuro Libre	mg/L		-0,0005	-0,0006	-0,0006	-0,0006
		Cianuro Total	mg/L	-0,001				
		Selenio	mg/L		-0,0004	-0,0004	-0,0004	-0,0004
	Nutrientes	Nitratos	mg N/L		0,032	0,025	0,029	0,045
		Nitrógeno total	mg N/L		0,144	0,153	0,16	0,205
	Metales y metaloides	Arsénico total	mg/L	0,04768	0,02536	0,03189	0,0355	0,03731
		Cadmio total	mg/L	0,00414	<1e-005	0,00061	0,00065	0,00073
		Cobre total	mg/L	0,11177	0,00094	0,00292	0,00338	0,00466
		Cromo Hexavalente	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
		Hierro disuelto	mg/L	<0,0004	<0,0004	0,0106	0,0129	0,0162
		Mercurio total	mg/L	<3e-005	<3e-005	<3e-005	<3e-005	<3e-005
		Níquel total	mg/L		<0,0002	0,001	0,0008	0,0008
		Piomo total	mg/L	0,0226	0,0007	0,0088	0,0131	0,0236
	Zinc total	mg/L	1,292	0,1739	0,2161	0,2019	0,2254	
	Parámetros Orgánicos	Parámetros Orgánicos	Aceites y grasas (MEH)	mg/L	<1	<1	<1	<1

Observaciones: No se pueden ingresar los valores para Cromo. Para los puntos L-1, L-2, L-3 y E-6 el valor resultado del análisis es <0.0001 mg/L .

Representante del titular de la Autorización

Firma



**AUTORIZACIÓN DE VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS  
REPORTE DE MONITOREO EN LOS PUNTOS DE CONTROL DEL EFLUENTE TRATADO Y CUERPO RECEPTOR**

Número de la Resolución Directoral que Autoriza Vertimiento : R.D.-0173-2016-ANA-DGCRH  
 Razón Social del Titular de la Autorización : COMPAÑIA MINERA RAURA S.A.  
 RUC del Titular de la Autorización : 20100163552  
 Fecha de Muestreo (DD/MM/AÑO) : 08/04/2019  
 Nombre del Laboratorio de Análisis : ALS LS PERU S.A.C.  
 Número del Informe de Ensayo Analítico : 22949/2019

Código del Punto de Control			E-04-A	E-6	L-1	L-2	L-3		
Coordenada Norte (UTM-WGS84)		m	8846066.00	8847741.00	8816167.00	8846237.00	8846426.00		
Coordenada Este (UTM-WGS84)		m	309788.00	310058.00	310016.00	309964.00	309894.00		
Hora de Muestreo		hh:mm (24h)	12:35	11:57	15:19	15:40	16:00		
Caudal de aguas residuales		L/s	147.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
Volumen		m <sup>3</sup>	393051,1680	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
PARAMETROS			E-04-A	E-6	L-1	L-2	L-3		
Parámetros Físicos	Parámetros Físicos	Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días	mg O <sub>2</sub> /L		<2	<2	<2	<2	
		Demanda Química de Oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L		6	5	3	13	
		Oxígeno Disuelto	mg O <sub>2</sub> /L		6,99	7,07	6,8	6,66	
		pH	Unidad de pH	8,46	8,14	7,74	6,19	6,26	
		Sólidos Disueltos Totales	mg/L		474	230	406	483	
Parámetros Inorgánicos	Parámetros Inorgánicos	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	3	<2	<2	2	<2	
		Bario	mg/L		0,0079	0,0051	0,0086	0,0078	
		Cianuro Libre	mg/L		<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	
	Metales y metaloides	Parámetros Inorgánicos	Cianuro Total	mg/L	<0,001				
			Selenio	mg/L		<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
		Nutrientes	Nitratos	mg N/L		0,085	0,007	0,044	0,057
			Nitrogeno total	mg N/L		0,131	0,102	0,094	0,131
		Metales y metaloides	Arsénico total	mg/L	0,04988	0,02304	0,01518	0,02233	0,02666
			Cadmio total	mg/L	0,00245	<1e-005	<1e-005	0,00058	0,00068
			Cobalto total	mg/L	0,03296	0,00116	0,0004	0,00346	0,00453
			Cromo Hexavalente	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
			Hierro disuelto	mg/L	<0,0004	<0,0004	0,0079	0,0923	0,013
			Mercurio total	mg/L	<3e-005	<3e-005	<3e-005	<3e-005	<3e-005
			Niquel total	mg/L		0,0006	<0,0002	0,0005	0,0014
			Piombo total	mg/L	0,0233	0,0008	0,0005	0,006	0,0093
Zinc total	mg/L		0,7726	0,1589	0,0122	0,2045	0,2569		
Parámetros Orgánicos	Parámetros Orgánicos		Aceites y grasas (MEH)	mg/L	<1	<1	<1	<1	<1

Observaciones:

No se pueden ingresar los valores para Cromo. Para los puntos L-1, L-2, L-3 y E-6 el valor resultado del análisis es <0.0001 mg/L.

Representante del titular de la Autorización

Firma

