



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL



TESIS

**CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA
SUPERFICIAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA COATA-REGIÓN PUNO**

PRESENTADA POR:

RAÚL PEDRO ROJAS VARGAS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL**

PUNO, PERÚ

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

TESIS

CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA COATA – REGIÓN PUNO



PRESENTADA POR:

RAÚL PEDRO ROJAS VARGAS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE


.....
Dr. EDWIN GUIDO BOZA CONDORENA

PRIMER MIEMBRO


.....
Dr. JUAN MAYHUA PALOMINO

SEGUNDO MIEMBRO


.....
M. Sc. CIRO HERNÁN VERA ALATRISTA

ASESOR DE TESIS


.....
Dr. TEÓFILO DONAIRES FLORES

Puno, 29 de diciembre de 2021

ÁREA: Recursos naturales y medio ambiente

TEMA: Índice de calidad de agua

LÍNEA: Calidad ambiental



DEDICATORIA

*A mi familia: Ana María mi carismática y adorable esposa;
a mis hijos Raúl Alexis y Lia Nails, quienes con su juicio y
presencia marcan mi capacidad de superación y desean lo
mejor en cada paso que doy por este sendero intrincado y
arduo de la vida. Gracias por ser como son.*



AGRADECIMIENTOS

- A todos los que perseveran y tienen la convicción de que a través del trabajo inquebrantable, férreo, tenaz y el esfuerzo constante se puede salir adelante.
- A mis maestros y amigos; que en el andar por la vida han motivado mis sueños y esperanzas en afianzar y consolidar un desarrollo humano y sostenible. Gracias a todos los que han recorrido conmigo este camino, porque me inculcaron sabias enseñanzas.
- Gracias al notable y magno profesional y correcta persona que, con sus acertados, adecuados, y valiosos comentarios y aportes, ha permitido culminar el desarrollo de la Tesis, propiciando alcanzar mis metas: Richard Wilber.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico	3
1.1.1 Cuenca	3
1.1.2 Cuenca hidrográfica	3
1.1.3 Unidad funcional	4
1.1.4 Recursos hídricos	6
1.1.5 Unidad hidrográfica	6
1.1.6 Calidad del agua	7
1.1.7 Contaminación	8
1.1.8 Pasivos ambientales	9
1.1.9 Índice de calidad	10
1.1.10 Agentes contaminantes	12
1.1.11 Parámetros a evaluar en el ICA-PE	13
	iii



1.1.12 Unidades litológicas	14
1.1.13 Metalogenia	14
1.2 Antecedentes	15

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema	27
2.2 Enunciados del problema	29
2.2.1 Enunciado general	29
2.2.2 Enunciados específicos	29
2.3 Justificación	29
2.4 Objetivos	32
2.4.1 Objetivo general	32
2.4.2 Objetivos específicos	32
2.5 Hipótesis	32
2.5.1 Hipótesis general	32
2.5.2 Hipótesis específicas	32

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudios	33
3.1.1 Ubicación.	33
3.2 Población	34
3.3 Muestra	35
3.4 Método de investigación	35
3.5 Diseño de la investigación	36
3.6 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	36



3.6.1	Descripción de formaciones geológicas en la Unidad Hidrográfica Coata	43
3.6.2	Determinación de las fuentes de contaminación presentes en la Unidad Hidrográfica Coata	44
3.6.3	Determinación de la variación de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata por comparación en la red de monitoreo, utilizando el índice ICA-PE	46
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1	Formaciones geológicas en la Unidad Hidrográfica Coata	55
4.2	Fuentes de contaminación en la Unidad hidrográfica Coata	64
4.2.1	Aguas residuales domésticas, industriales y mineras	65
4.2.2	Residuos sólidos	66
4.2.3	Pasivos ambientales mineros	67
4.3	Variación de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata por comparación en la red de monitoreo utilizando el índice ICA-PE	74
	CONCLUSIONES	88
	RECOMENDACIONES	90
	BIBLIOGRAFÍA	91
	ANEXOS	100



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Descripción de los Agentes Contaminantes	12
2. Parámetros considerados en la Categoría 1-A2 Poblacional y Recreacional: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	13
3. Parámetros considerados en la Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida de animales	13
4. Parámetros considerados en la Categoría 4 Conservación del ambiente acuático	14
5. Resultados del ICA en los puntos de tomas de muestras	17
6. Clasificación calidad de agua de acuerdo al valor del índice de calidad del agua	19
7. Comportamiento del INSF en los tres sectores	19
8. Criterios para la clasificación de las aguas	20
9. Resultados del monitoreo de la calidad de sedimentos	23
10. Población de las Principales localidades de la Unidad Hidrográfica Coata	35
11. Muestreo de la calidad de agua superficial U. H. Coata 2015 – 2019	35
12. Características generales de la Unidad Hidrográfica Coata	37
13. Sub Unidades Hidrográficas (Subcuencas) – Unidad Hidrográfica Coata	42
14. Clasificación de las fuentes Contaminantes	44
15. Naturaleza y tipo de fuentes contaminantes (FC)	45
16. División de la Unidad Hidrográfica Coata en función a: geomorfología, rango altitudinal y red de monitoreo de la calidad del agua superficial	48
17. Red de puntos de monitoreo de la calidad de agua superficial de la Unidad Hidrográfica Coata	49
18. Monitoreos Participativos de la calidad de agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata (2015 – 2019)	51
	vi



19. Valoración del ICA-PE	54
20. Columna estratigráfica de la Unidad Hidrográfica Coata	56
21. Correlación litoestratigráfica de la Unidad Hidrográfica Coata	58
22. Lista de ocurrencias metálicas y no metálicas en la Unidad Hidrográfica Coata	61
23. Lista de minas y proyectos en la Unidad Hidrográfica Coata	61
24. Resumen de las fuentes contaminantes identificadas en la Unidad Hidrográfica Coata - año 2015	65
25. Identificación de botaderos de residuos sólidos en la Unidad Hidrográfica Coata año 2015	67
26. Pasivos Ambientales Mineros identificados en la Unidad Hidrográfica Coata 2015	68
27. Identificación de Fuentes Contaminantes relacionados con los recursos hídricos de la Unidad Hidrográfica Coata según su origen año 2019	68
28. Tipos de agua residual identificadas en la Unidad Hidrográfica Coata: Año 2019	69
29. Identificación de botaderos de residuos sólidos en la Unidad Hidrográfica Coata año 2019	69
30. Resumen de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata año 2019	70
31. Autorizaciones de Vertimiento en la Unidad Hidrográfica Coata	71
32. Comportamiento cuantitativo de Fuentes Contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata 2015-Comportamiento cuantitativo de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata 2015-2019	72
33. Clasificación cuerpos de agua continentales lóticos - Unidad Hidrográfica Coata	74
34. Clasificación cuerpos de agua continentales lénticos - Unidad Hidrográfica Coata	74
35. Cálculo del ICA-PE en función al alcance (F1), frecuencia (F2) y Amplitud (F3)	75
36. Resultados ICA-PE Unidad Hidrográfica Coata: monitoreos 2015-2019; zona alta, media y baja	76



- 37.** Análisis comparativo multitemporal del comportamiento del ICA-PE en relación al incumplimiento del ECA-Agua. U.H. Coata- Cuenca Alta 78
- 38.** Análisis comparativo multitemporal del comportamiento del ICA-PE en relación al incumplimiento del ECA-Agua. U.H. Coata- Cuenca Media 80
- 39.** Análisis comparativo multitemporal del comportamiento del ICA-PE en relación al incumplimiento del ECA-Agua. U.H. Coata- Cuenca Baja 82



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Partes de una cuenca hidrográfica	4
2. Ubicación geográfica de la Unidad Hidrográfica Coata	34
3. Distribución de las zonas de vida – Unidad Hidrográfica Coata	39
4. Geología de la Unidad Hidrográfica Coata	41
5. Mapa hidrográfico de la Unidad Hidrográfica Coata	43
6. División de la Unidad Hidrográfica Coata	47
7. Mapa metalogenético del sur del Perú	60
8. Mapa metalogenético de la Cuenca Coata	60
9. Mapa de identificación de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata	71
10. Evolución cuantitativa de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata 2015 – 2019	72
11. Variación espacio-temporal del ICA-PE. U.H. Coata 2015-2019	77
12. Variación del ICA-PE: U.H. Coata 2015-2019-Cuenca Alta	78
13. Variación del ICA-PE: U.H. Coata 2015-2019-Cuenca Media	79
14. Variación del ICA-PE: U.H. Coata 2015-2019-Cuenca Baja	81
15. Índice calidad de agua superficial ICA-PE. Unidad Hidrográfica Coata 2015-2019	83

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Parámetros en la evaluación de la calidad del agua	100
2. Franjas metalogénicas	105
3. Mapa metalogenético del Perú	106
4. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	107
5. Mapa geológico de la región Puno	112
6. Geología de los cuadrángulos de Ocuwiri, Juliaca, Lagunillas, Puno y Ácora: INGEMMET (2018) Mapa geológico integrado de proyectos	113
7. Unidades litoestratigráficas de la cuenca alta, media y baja Unidad Hidrográfica Coata	116
8. Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) en las lagunas y lagos (Categoría 4-E1) de la Unidad Hidrográfica Coata 2015 al 2019	118
9. Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) en los ríos (Categoría 4-E2) de la Unidad Hidrográfica Coata 2015 al 2019	119
10. Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) en los ríos (Categoría 1-A2) de la Unidad Hidrográfica Coata 2015 al 2019	120
11. Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) en los ríos (Categoría 3) de la Unidad Hidrográfica Coata 2015 al 2019	121
12. Resultados de parámetros que incumplen el ECA-Agua, en monitoreos de la zona alta, media y baja de la Unidad Hidrográfica Coata 2015 - 2019	122
13. Análisis de varianza de un factor	123

RESUMEN

La investigación tiene el objetivo de caracterizar y evaluar la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata, expone los resultados de cinco años (2015-2019) de análisis de la calidad de agua, realizados por la Autoridad Nacional del Agua, determinándose el índice de calidad de agua ICA-PE. Asimismo, describe la geología de la zona, la identificación de fuentes contaminantes y su incidencia en la calidad del agua superficial. La evaluación de estos índices se realizó con información recopilada en 19 puntos durante nueve monitoreos, permitiendo la determinación de la variación de la calidad del agua superficial (lóticos y lénticos) y comparación entre localidades a través del tiempo. Los resultados indican que la geología difiere sustancialmente desde la cuenca alta, conformada por rocas volcánicas y volcano-sedimentarias, la cuenca media mayormente de rocas sedimentarias y metamórficas, mientras que en la cuenca baja existe predominancia de unidades del Cuaternario. Las fuentes contaminantes son de origen antropogénico, destacando vertimientos de aguas residuales municipales e industriales, botaderos de residuos sólidos y sustancias descargadas in situ. La variación del ICA-PE, según categoría y parámetros que no cumplen el ECA-Agua, indican que en la cuenca alta la calidad es regular (ICA-PE= 45-74) en 71% y 29% bueno (ICA-PE=75-89). En la cuenca media es 100% bueno y en la cuenca baja bueno en 56%, regular en 33% y malo (ICA-PE=30-44) en 11%, punto de monitoreo RToro2.

Palabras clave: Calidad de agua, contaminación, índice de calidad, unidad hidrográfica, unidades litológicas.

ABSTRACT

The research aims to characterize and evaluate the quality of surface water in the Coata Hydrographic Unit, presents the results of five years (2015-2019) of water quality analyses, carried out by the National Water Authority, determining the ICA-PE water quality index. It also describes the geology of the area, the identification of polluting sources and their impact on surface water quality. The evaluation of these indices was carried out with information collected in nineteen points during nine monitoring sessions, allowing the determination of the variation of the quality of the surface water (lotic and lentic) and comparison between localities over time. The results indicate that the geology differs substantially from the upper basin, made up of volcanic and volcano-sedimentary rocks, the middle basin mostly of sedimentary and metamorphic rocks, while in the lower basin there is a predominance of Quaternary geological units. The polluting sources are of anthropogenic origin, especially municipal and industrial wastewater discharges, solid waste dumps and substances discharged in the area. The variation of the ICA-PE, according to the category and parameters that do not comply with the ECA-Water, indicates that in the upper basin the quality is regular (ICA-PE= 45-74) in 71% and good in the 29% (ICA-PE=75-89). In the middle basin it is 100% good and in the lower basin it is good in 56%, regular in 33% and bad (ICA-PE=30-44) in 11% monitoring point RToro2.

Keywords: Contamination, hydrographic unit, lithological units, quality index, water quality.

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento básico para la vida del ser humano, tanto para su existencia como para su utilización en actividades industriales, domésticas o agrícolas; pero los seres humanos ya emplean la mitad de los recursos de agua dulce del mundo y su consumo va en aumento (Cabildo *et al.*, 2013).

En nuestro país, el proceso de contaminación que sufren los recursos hídricos, tiene un origen mayormente antrópico. Como consecuencia de los vertimientos en cuerpos de agua lóticos y lénticos, aumentan la concentración de elementos que alteran la calidad del agua, ya que estos cuerpos se constituyen en sumideros de todo tipo de residuos.

La cuenca del Lago Titicaca es una cuenca endorreica, cuya extensión es de 57 708 Km², de los cuales 8 167 Km² pertenecen al lago, con una amplitud máxima de 125 Km y una extensión de 400 Km. Cuenta con cinco tributarios principales: ríos Ramis, Huancané, Coata, Ilave y Suches y un efluente el río Desaguadero. Cada uno de estos tributarios presentan desequilibrios y complejas interacciones que afectan la calidad ambiental del agua, positiva o negativamente como producto de la acción humana o de origen natural.

La Unidad Hidrográfica Coata está siendo impactada por el vertimiento de efluentes de actividades productivas, aguas residuales domésticas sin tratamiento proveniente de las poblaciones que se encuentran asentadas a lo largo de su cauce, así como de la generación de residuos sólidos. Esta afectación se trasluce en las concentraciones de elementos que superan los Estándares de Calidad Ambiental para el agua (ECA-Agua), pero no permiten tener una apreciación objetiva de cuál es la calidad del agua.

El contar con una importante cantidad de datos de la calidad del agua obtenidos a partir de monitoreos participativos, crea la necesidad de integrarlos a través de una herramienta que sea útil para la comprensión y comunicación de dicha información sobre el estado y evolución del recurso y que permita una evaluación real del estado de la calidad del agua.

Por tanto, se hace necesario emplear una herramienta que permita resumir y promediar la calidad del agua y expresar los resultados de manera simplificada facilitando su manejo, interpretación y comparación por parte de los especialistas de calidad del agua, actores vinculados con la gestión y administración de los recursos hídricos y el público en general. El uso del Índice de Calidad de Agua (ICA) nos permite conocer el grado de contaminación del agua a la fecha de muestreo y se expresa en porcentaje del agua pura.

Siendo el objetivo de la investigación, el caracterizar la Unidad Hidrográfica Coata y evaluar la calidad del agua superficial mediante el índice ICA-PE, en función a la dinámica hidrológica (Garrido *et al.*, 2010), se ha dividido a la Unidad Hidrográfica Coata en tres zonas funcionales distintas: cuenca alta, cuenca media y cuenca baja; la cuenca de la zona alta comprende a los distritos de Palca, Paratía y Santa Lucía; la red hidrográfica está conformada por las lagunas Serusa, Palca, Lagunillas y los ríos Pumahuta, Palca, Paratía, Ichocollo y Verde. La cuenca de la zona media comprende a los distritos de Lampa y Cabanillas; la red hidrográfica está conformada por los ríos Cabanillas y Lampa. La cuenca de la zona baja comprende a los distritos de Juliaca, Coata y Capachica en el que la red hidrográfica está conformada por los ríos Torococha, Coata y su desembocadura en el Lago Titicaca. En cada una de estas zonas se describe su geología, así como la identificación de las principales presiones ambientales según los lineamientos para la identificación y seguimiento de fuentes contaminantes relacionadas con los recursos hídricos (ANA, 2018) y con la información proveniente de los resultados de los monitoreos participativos, en el período 2015 al 2019, de calidad de agua superficial realizadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), Autoridad Administrativa del Agua (AAA XIV Titicaca) y la Administración Local del Agua Juliaca (ALA Juliaca), se determina el ICA-PE para cada uno de los puntos de la red de monitoreo, mediante la metodología para la determinación del Índice de la Calidad de Agua ICA-PE (ANA, 2018), con la finalidad de tener la valoración simplificada de la calidad del agua y que contribuya al mejor entendimiento de la gestión de la calidad de los recursos hídricos.

La estructura de la investigación es la siguiente: Introducción, Capítulo I Revisión de literatura; Capítulo II Planteamiento del problema comprendiendo la definición del problema, justificación, objetivos e hipótesis; Capítulo III Materiales y métodos conducentes al desarrollo del estudio; Capítulo IV Resultados y discusión; Conclusiones; Recomendaciones; Bibliografía y Anexos.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Cuenca

Las cuencas constituyen un complejo mosaico de ecosistemas, naturales y manejados, donde se reconocen los vínculos entre los territorios de las zonas altas y bajas, cuyas externalidades, transportadas por los cursos de agua, crean una conexión física entre poblaciones alejadas unas de otras (Cotler, 2010).

Los territorios de las cuencas otorgan bienes y servicios ambientales invaluable para nuestra existencia como son el suministro de agua dulce, la regulación del caudal de los ríos, el mantenimiento de los regímenes hidrológicos naturales, la regulación de la erosión o la respuesta a eventos naturales extremos, entre otros (Balvanera & Cotler, 2009).

1.1.2 Cuenca hidrográfica

Carabias & Landa (2005), consideran que la cuenca hidrográfica es el espacio geográfico que contiene los escurrimientos de agua y que los conducen hacia un punto de acumulación terminal. La definición de cuenca hidrográfica no tiene que ver con el tamaño del espacio geográfico que la contiene, las cuencas, entonces, quedan definidas por el origen y el destino del agua y no por su tamaño.

Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un parteaguas (partes más altas de montañas) donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de

salida de la cuenca, que puede ser un lago (formando una cuenca denominada endorreica) o el mar (llamada cuenca exorreica). En estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes) (SEMARNAT, 2013).

1.1.3 Unidad funcional

En la cuenca hidrográfica, se distinguen por lo general tres sectores característicos: alto, medio y bajo, los cuales en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos (Llerena, 2003).

Al respecto, Ordoñez (2011) menciona que, la cuenca alta corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas, esta área tiene gran capacidad de generar erosión; la cuenca media, donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido, es una zona de mezcla y transición hidrológica hacia las zonas de desembocadura. La cuenca baja o zonas transicionales, es una zona donde las corrientes comienzan a disminuir su velocidad y erosividad, transformándose en áreas de mayor estabilidad y depósitos de sedimentos (planicies aluviales), es el área que desaloja el agua de todo el sistema hacia el mar o un cuerpo de agua interior (Garrido *et al.*,2010).



Figura 1. Partes de una cuenca hidrográfica

Fuente: Eoearth, adaptada por Ordoñez (2011)

Garrido *et al.* (2010), mencionan que, existe la posibilidad de subdividir una cuenca en diferentes unidades espaciales a partir de la función hidrológica específica que desempeñan. Se reconocen tres diferentes zonas funcionales en una cuenca: a) el área de colecta o captación, dónde las aguas que se precipitan son captadas, infiltradas y posteriormente, concentradas transformándose en escorrentía, b) el área de almacenamiento hídrico, cuya capacidad variará en cantidad y duración dentro del sistema; esta zona es un área de funciones mixtas pues además de almacenar, también desaloja agua cuenca abajo. Finalmente, c) la zona de descarga, de salida o de emisión hídrica de la cuenca, que típicamente se presentará en forma de escorrentía.

Además de este tipo de subdivisión y estructura jerárquica, es importante reconocer que el funcionamiento de una cuenca hidrográfica no es el mismo en toda su extensión.

En función de la dinámica hidrológica se pueden reconocer tres zonas funcionales distintas al interior de una cuenca (Garrido *et al.*, 2010):

1. La zona de captación, de cabecera o cuenca alta. Son áreas aledañas a la divisoria de aguas o parteaguas en la porción altimétrica más elevada de la cuenca; abarca sistemas de montaña y lomeríos. En esta zona se forman los primeros escurrimientos (arroyos), evidenciando procesos fluvio – erosivos, debido a una mayor energía del relieve por el mayor grado de inclinación de las pendientes.

2. La zona de almacenamiento, de transición o cuenca media. Es una zona de transición entre la cuenca alta y la cuenca baja, donde los escurrimientos iniciales confluyen aportando diferentes caudales cuyas concentraciones de sedimentos, contaminantes y materia orgánica diferirán en función de las actividades que se realizan en cada subcuenca. La energía del relieve en esta zona es en promedio intermedia al igual que la pendiente.

3. La zona de descarga, de emisión o cuenca baja. Es el sitio donde el río principal desemboca en el mar o bien en un lago, abarcando la porción altimétrica más baja de la cuenca. Comprende las planicies de inundación ordinarias y extraordinarias. Es un área con nula o mínima pendiente del relieve, mínima energía y se aprecian procesos deposicionales dominantes. Se caracteriza por ser una zona de importantes ecosistemas, como los humedales terrestres y, además de muy productiva para el uso

agrícola y donde se acumulan los impactos de toda la cuenca (SEMARNAT, 2013).

1.1.4 Recursos hídricos

Los recursos hídricos son todas las fuentes naturales de agua, esenciales en el funcionamiento de los ecosistemas y en todas las actividades humanas. El agua es un recurso único que no tiene sustitutos, y es indispensable para la vida en las comunidades y en la sociedad, por lo que logra impactar todos los aspectos de la vida del planeta (Villamagua, 2012).

La escasez, el uso y manejo inadecuado de los recursos hídricos, se constituye en uno de los factores de mayor limitación para el desarrollo sostenible a nivel mundial. La salud y el bienestar del ser humano, la seguridad alimentaria, el desarrollo industrial y la calidad de los ecosistemas que dependen de manera directa de un adecuado manejo y gestión del recurso hídrico se encuentran en riesgo. Los recursos hídricos, en el sentido más amplio, incluyen el agua en todas las etapas del ciclo hidrológico, conjuntamente con toda la biodiversidad que esta soporta, tal como los peces, los anfibios, la flora. La interdependencia de estos elementos, así como el ciclo hidrológico que estos generan, tal como la evaporación, la transpiración, la humedad del suelo, el agua superficial y freática, el agua costera y marítima, dentro de una perspectiva integral, sustentada por las unidades hidrológicas básicas, las cuencas y los acuíferos, definen el potencial hídrico de una región (Andrade & Navarrete, 2004).

1.1.5 Unidad hidrográfica

El concepto de unidad hidrográfica fue creado por Otto Pfafstetter en 1989, por esta razón a estas unidades se les suele denominar también “ottocuencas”. Las unidades hidrográficas son área de drenaje limitadas por líneas divisorias de aguas, y que se relacionan espacialmente por sus códigos (MMAYA, 2010).

Las Unidades Hidrográficas son espacios geográficos limitados por líneas divisorias de aguas, relacionadas espacialmente por sus códigos, donde el tamaño de sus áreas de drenaje es el único criterio de organización jerárquica. El Sistema de delimitación y codificación de Pfafstetter considera tres tipos de unidades de drenaje: cuencas, intercuencas y cuencas internas. Cuenca, es la unidad hidrográfica que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje.

Intercuenca, es la unidad hidrográfica que recibe el drenaje de otra unidad que se ubica aguas arriba, mediante el curso del río principal, y permite el drenaje del flujo propio y del que ha ingresado a esta unidad hacia la unidad de drenaje que se ubica hacia aguas abajo. En tal sentido una unidad de drenaje tipo intercuenca es una unidad hidrográfica de tránsito del río principal. Cuenca Interna, es la unidad hidrográfica que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua (Barranca, 2015).

1.1.6 Calidad del agua

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana. Sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua. Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos. Decenio Internacional para la acción (ONU-DAES, 2014).

La calidad del agua es una variable fundamental del medio hídrico, tanto en lo que respecta a la caracterización ambiental como desde la perspectiva de la planificación hidrológica. Este término puede responder a varias definiciones, que se han visto reflejadas en la legislación a lo largo del tiempo. Cada uso que damos al agua requiere una calidad distinta de este recurso y recibe por ello un tratamiento diferente, tanto antes como después de su utilización. Solemos distinguir los usos del agua en tres grandes grupos: agrícola, industrial y urbano (Ros, 2010).

La calidad del agua se mide en función del grado de contaminación que tiene. Este término se utiliza en general para describir cualquier condición o sustancia que hace que el uso indiscriminado de aire, agua o tierra se vea restringido. Por ejemplo, el

agua que por su nivel de contaminación se juzga adecuada para la irrigación, ya no tiene la calidad apropiada su uso como agua potable. En el caso extremo, si el agua está demasiado contaminada, no tiene la calidad necesaria para ninguno de los usos comunes, como agua potable, de lavado, para irrigación o en plantas industriales (para generar vapor o como agua de enfriamiento) (Mosqueira, 2014).

1.1.7 Contaminación

La contaminación puede definirse como la introducción de una sustancia en el medio ambiente a niveles que llevan a la pérdida del uso benéfico de un recurso o la degradación de la salud de los seres humanos, la vida silvestre o los ecosistemas. Los contaminantes se descargan en sistemas acuáticos desde **fuentes puntuales** (ubicaciones estacionarias como una tubería de efluentes) y desde **fuentes no puntuales** (también llamadas difusas) como el escurrimiento de la tierra y la atmosfera. El flujo de masa de un contaminante se denomina su **carga** y se expresa en unidades de masa por unidades de tiempo (Mihelcic & Zimmerman, 2012).

Por contaminación se entiende generalmente una presencia de sustancias químicas o de otra naturaleza en concentraciones superiores a las condiciones naturales. Entre los contaminantes más importantes se encuentran los microbios, los nutrientes, los metales pesados, metaloides, los químicos orgánicos, aceites y sedimentos; el calor también puede ser un agente contaminante, al elevar la temperatura del agua. Los contaminantes constituyen la principal causa de la degradación de la calidad de agua en el mundo (ONU-DAES, 2014).

En ANA (2016), documento técnico denominado, “Priorización de cuencas para la gestión de recursos hídricos”, se indica en: Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos: La Autoridad Nacional del Agua desarrolla acciones de vigilancia de la calidad de los recursos hídricos para asegurar la conservación y protección del agua, así como de sus bienes naturales asociados.

Estas acciones se manifiestan en los trabajos de monitoreos participativos de la calidad del agua superficial, este proceso permite determinar el grado de afectación y alteración de la calidad de las aguas superficiales, causadas por las actividades poblacionales y productivas debido a la disposición de materias extrañas, productos químicos, residuos sólidos y líquidos y otros que deterioran la calidad del agua y

limitan su uso. En estas acciones participan actores de las cuencas con la finalidad de levantar y compartir información sobre la calidad del agua, información que servirá para plantear las acciones necesarias para la recuperación y/o preservación de las cuencas.

La calidad de los recursos hídricos se ve afectada por dos factores principales:

a. Antropogénicos. Comprende actividades poblacionales y productivas que usan el recurso hídrico desde su fuente natural, las cuales generan vertidos de aguas residuales no tratadas; asimismo, una deficiente cobertura del sistema de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, manejo inadecuado de agroquímicos y residuos sólidos domésticos, pasivos ambientales mineros e hidrocarburíferos, minería informal e ilegal y deforestación.

b. Naturales. Se refiere a aquello relativo a la naturaleza o producido por ella sin la intervención del hombre, como las características geológicas, hidrológicas, edafológicas, condiciones climatológicas, cambio climático, naturaleza volcánica y fenómenos naturales, entre otras. ANA (2016) Resolución Jefatural N° 139-2016-ANA.

Por otro lado, la contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que estos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales, sobre todo en las áreas urbanas e incluso en numerosas ciudades importantes del continente. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales, que en algunos casos llegan a estar tan contaminadas que su potabilización resulta muy difícil y costosa (Barrenechea, 2004).

1.1.8 Pasivos ambientales

Un pasivo ambiental puede definirse como aquella situación ambiental que generada por el hombre en el pasado y con deterioro progresivo en el tiempo, representa actualmente un riesgo para el ambiente y la calidad de vida de las personas. Un pasivo ambiental, puede afectar la calidad del agua, el suelo, el aire y deteriorar los ecosistemas. Por lo general, estos son producidos por las actividades del hombre, sea por desconocimiento, negligencia o por accidente a lo largo de su historia (SNMPE, 2004).

La Ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera, determina que son considerados pasivos ambientales aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

1.1.9 Índice de calidad

Valcárcel *et al.* (2009), considera que, un índice de calidad de agua, consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que caracterizan la calidad del agua. Su ventaja radica en que puede ser más fácilmente interpretado que una lista de valores numéricos. Los usuarios de esta información pueden estar estrechamente relacionados, como: biólogos, ingenieros sanitarios y ambientales, administradores de recursos hídricos; o en su defecto personas apenas familiarizados con la misma, como el caso de usuarios, abogados y público en general; sin embargo, unos y otros podrán rápidamente tener una idea clara de la situación que expresa el índice (contaminación excesiva, media o inexistente, entre otras).

Un índice de calidad es una herramienta que entrega información con respecto de la calidad del agua de manera simplificada y de fácil entendimiento. Su objetivo es englobar aquellos parámetros más importantes que pueden incidir en la afectación de la calidad del agua en un solo factor, por lo que puede ser muy útil en la toma de decisiones respecto a la gestión del recurso (Girardi *et al.*, 2018).

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 hacer más simple la interpretación de los datos de su monitoreo, es cada vez más frecuente el uso de índices de calidad de agua, los cuales son herramientas prácticas que reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión sencilla dentro de un marco unificado.

Un índice se podría definir como el análisis conjunto de varios parámetros o variables dando lugar a una sola expresión numérica. Un índice posee características parecidas a las de un indicador, pero su carácter social está más acentuado (Ros, 2010).

En ANA (2018), se menciona que, en el Perú, la evaluación de la calidad del agua se realiza a través de la comparación de los resultados de un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos con los valores establecidos en el ECA - Agua según la categoría del cuerpo de agua superficial correspondiente; lo que determina su cumplimiento o incumplimiento, precisando únicamente los parámetros críticos y su correspondiente concentración. Sin embargo, esta evaluación es ambigua a la hora de precisar o establecer el nivel de calidad de agua del recurso hídrico, es decir si esta tiene una calidad excelente, buena, regular, mala o pésima. 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. En ese sentido, los “índices de calidad de agua” constituyen un instrumento fundamental debido a que permiten 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 cero (0) 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.

Por su elaboración metodológica, la propuesta del ICA seleccionada, de la evaluación de diferentes indicadores aplicados en otros países, es adoptada, porque nos permite adaptar todo lo que requiere para su determinación y cálculo, como la información base necesaria (resultados de los monitoreos), la clasificación de los cuerpos de agua (la categoría a ser evaluada según normativa) y los ECA - Agua, que como Autoridad competente en materia de agua en nuestro país se tiene: la base de datos, herramientas y normativas, sin la necesidad de requerir alguna referencia de otros países. Además de requerir menos información en relación al gran número de parámetros que se obtienen en un monitoreo para la evaluación de la calidad del agua, por ende, este ICA tiene la capacidad de resumir y simplificar datos y transformar la información haciéndola fácilmente entendible por los responsables de la gestión de la calidad de los recursos hídricos, por el público, los medios y los usuarios. Este ICA es denominado por la Autoridad como Índice de Calidad de Agua ICA – PE, aplicable a los cuerpos de agua continentales superficiales (ANA, 2018). Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA.

1.1.10 Agentes contaminantes

En ANA (2018), se describe la importancia de cada agente contaminante, resumido en la tabla 1:

Tabla 1
Descripción de los agentes contaminantes

Agentes/Fuentes Contaminantes	Descripción
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable. Esta última se mide en la mayoría de las ocasiones en función de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y la DQO (Demanda Química de Oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos (bacterias, virus, protozoarios, gusanos)	Trasmiten enfermedades contagiosas tales como el cólera, tifus, disentería, gastroenteritis, hepatitis, poliomiélitis, esquistomiasis. Estos agentes pueden causar altas tasas de morbilidad y mortalidad si no se toman las medidas adecuadas de higiene y desinfección, o de búsqueda de otras fuentes de agua de mejor calidad.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento de algas. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de algas produciendo las floraciones algales. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, pueden provocar la contaminación de agua subterránea.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son frecuentemente añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio, y los sulfatos se añaden de suministro como consecuencia del uso del agua y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.
Sólidos sedimentables	Entre los contaminantes sólidos se encuentran arena, arcillas, tierra, cenizas, materia vegetal agrícola, grasas, brea, papel, hule, plásticos, madera y metales. Las partículas del suelo o sólidos de basura se acumulan en el cauce de los ríos, perjudicando a la biota existente. Si los sedimentos acarrean sustancias tóxicas, estos pueden ser transmitidos a otros organismos a través de la cadena alimentaria ocasionando la muerte de los organismos acuáticos. Otras partículas flotan cerca de la superficie enturbiando el agua y obstaculizando la penetración de la luz y por ende el proceso de fotosíntesis.
Energía radiactiva	Producen muerte de especies de flora y fauna, problemas en la salud humana, alteraciones genéticas y cáncer.
Energía térmica	Los procesos industriales producen en numerosos casos aguas a elevadas temperaturas. Cuando éstas llegan a canales, ríos, lagos o mares causan varios efectos químicos, físicos y biológicos. Uno de los más graves es la descomposición del agua, agotando el oxígeno que ésta contiene. El aumento notable de la temperatura del agua afecta, además, los ciclos reproductivos, la digestión y la respiración de los organismos que habitan las aguas y cuando la temperatura es demasiado elevada, se presenta incluso muertes de peces.

Fuente: ANA (2018). Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA

1.1.11 Parámetros a evaluar en el ICA-PE

De acuerdo a lo establecido en ANA (2018), y la evaluación de la información de los monitoreos de la calidad de los cuerpos de agua superficial, efectuados por la ANA, se han detectado los parámetros recurrentes en conformidad con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, la alteración al recurso hídrico y posible riesgo a la salud y al ambiente. Tomando en cuenta la categoría asignada al cuerpo de agua, se alinea a la “Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales” y a los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ECA - Agua) para los parámetros seleccionados en la aplicación de la metodología ICA - PE. Se indican en las tablas siguientes:

Tabla 2

Parámetros considerados en la Categoría 1-A2 Poblacional y recreacional: aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

N°	Parámetro	Unidades
01	Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L
02	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L
03	Arsénico	mg/L
04	Cadmio	mg/L
05	Cobre	Unid. de pH
06	Cromo Total	mg/L
07	Hierro	mg/L
08	Manganeso	mg/L
09	Plomo	mg/L
10	Mercurio	mg/L
11	Zinc	mg/L
12	Potencial de Hidrógeno (pH)	mg/L
13	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml

Fuente: ANA (2018). Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA

Tabla 3

Parámetros considerados en la Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida de animales.

N°	Parámetro	Unidades
01	Cloruros	mg/L
02	Conductividad	mg/L
03	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L
04	Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L
05	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unid. de pH
06	Aluminio	mg/L
07	Arsénico, Boro, Cadmio	mg/L
08	Cobre, Hierro, Manganeso	mg/L
09	Mercurio, Plomo. Zinc	mg/L
10	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml
11	Huevos y larvas helmintos	Huevos/L

Fuente: ANA (2018). Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA

Tabla 4

Parámetros considerados en la Categoría 4 Conservación del ambiente acuático

N°	Parámetro	Unidades
01	Aceites y Grasas (MEH)	mg/L
02	Clorofila A	mg/L
03	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L
04	Fósforo Total	mg/L
05	Amoniaco-N	mg/L
06	Nitrógeno Total	mg/L
07	Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L
08	Potencial de Hidrógeno (pH) Boro	Unid. de pH
09	Arsénico	mg/L
10	Cadmio	mg/L
11	Mercurio	mg/L
12	Plomo	mg/L
13	Zinc	mg/L
14	Hidrocarburos de petróleo HTTP	mg/L
15	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml
16	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L
17	Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (benzopireno, antraceno, fluoranteno)	mg/L

Fuente: ANA (2018). Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA

1.1.12 Unidades litológicas

La estratigrafía se define como el estudio e interpretación de los procesos registrados en las sucesiones sedimentarias, que van a permitir, además de conocer la naturaleza y disposición de las rocas estratificadas, la correlación tanto de los materiales como de los sucesos y una ordenación temporal correcta de la secuencia de los materiales y sucesos (Corrales *et al.*, 1977).

Las Unidades litoestratigráficas, son establecidas a través de los caracteres litológicos de la sucesión estratigráfica. Tienen carácter eminentemente práctico, pues se utilizan tanto en afloramientos como en sondeos y están siempre limitadas en el espacio. La principal característica de estas unidades es su cierta homogeneidad litológica. Sus bases son totalmente objetivas, ya que su reconocimiento en el campo es factible normalmente a simple vista. Los límites deben estar situados en contactos netos y claros entre las diferentes litologías, aunque en forma ocasional sean un tanto arbitrarios. La Formación es la unidad fundamental de la clasificación litoestratigráfica (Navarrete, 2005).

1.1.13 Metalogenia

Metalogenia, bajo este concepto se define a la rama de la geología que estudia el origen de los yacimientos minerales, sus relaciones con las rocas que los contienen,

las estructuras que los controlan y las leyes que gobiernan la distribución de los depósitos minerales en la corteza terrestre. La metalogénesis permite definir y, en su caso, mostrar en un mapa las áreas potenciales de contener concentraciones minerales. Los yacimientos minerales se forman a partir de procesos de segregación y concentración de determinados elementos químicos. Estos procesos, que pueden ser magmáticos, metamórficos, hidrotermales y/o sedimentarios, pueden ser explicados, así como la mayoría de los procesos geológicos, en términos de la teoría de la Tectónica de Placas (Juárez, 2014).

La metalogenia es la rama de la geología que investiga la distribución en espacio y tiempo de los depósitos minerales, con el objetivo de definir los factores que han contribuido a la distribución de los metales en la corteza terrestre. Define de esta manera los modelos geológicos que permiten explicar la existencia de zonas donde se concentran metales y otras en las que éstos están ausentes.

El análisis de la distribución de las mineralizaciones en el tiempo permite establecer épocas metalogénicas, es decir intervalos de tiempo geológico durante los cuales se formaron concentraciones minerales de un metal o grupo de metales.

La evaluación de la distribución geográfica de los elementos permite establecer provincias y fajas o dominios metalogénicos. Una provincia metalogénica, es un área caracterizada por un contenido anómalo regional de uno o más metales (“preconcentraciones”) donde procesos geológicos de diferentes edades formaron diversos tipos de depósitos de minerales. Una faja metalogénica, (o franja o cinturón o dominio) corresponde a un sector de la corteza terrestre caracterizado por rocas originadas por un proceso geológico en un tiempo determinado y con las cuales se vinculan genéticamente un grupo de depósitos minerales (Herrmann & Zappettini, 2014).

1.2 Antecedentes

ANA (2011), desarrolló la evaluación del estado actual de la calidad de los cuerpos naturales de agua superficial en el ámbito de las cuencas: Pasto Grande en el departamento de Moquegua, Ilave, Coata Ilpa y el río Margaritani en el departamento de Puno, como base para promover la implementación de la estrategia orientada a la recuperación y protección de la calidad de los recursos hídricos. En lo relacionado a las

subcuencas de los ríos Cabanillas, Lampa y Coata se registraron concentraciones de pH en el rango básico (mayor a pH 7.00 Unid. pH) en los embalses Palca, en la salida hacia la quebrada Palca y Serusa, en la salida y los ríos, a excepción del río Lampa, antes de la confluencia con el río Cabanillas (altura del puente Mojigachi) y Cabanillas, aguas abajo, después de los vertimientos de la ciudad de Cabanillas, los cuales fueron inferiores al rango establecido en la categoría 4 para embalses y categoría 3 para ríos, de los ECA del D.S. N° 002-2008-MINAM. Río Paratía (después del vertimiento de agua de la mina de la U.M. el Cofre de la empresa CIEMSA, concentraciones de manganeso mayor al ECA categoría 3. En el río Torococha, la calidad de las aguas referido a los coliformes termotolerantes y totales, según los reportes de laboratorio, indican que no exceden los valores del ECA-Agua. En la parte final del río, está afectado por la concentración de nitrógeno (materia orgánica) presentes en los residuos domésticos debido a la actividad primaria (fotosíntesis).

ANA (2012), en los resultados del monitoreo de la calidad del agua superficial de la cuenca Coata, se determina que:

- En la cuenca del río Coata al 2011 existían 12 vertimientos de aguas residuales, 11 domésticos sin autorización, 01 vertimiento de agua residual tratada autorizado, correspondiente a la U.M. el Cofre de la empresa CIEMSA (en el distrito de Paratía provincia de Lampa) y 04 pasivos ambientales.
- La red de monitoreo del ámbito de la cuenca del río Coata está conformada por 11 puntos.
- Las aguas del río Paratía se encuentran afectados por coliformes totales.
- Las aguas de las lagunas Palca y Serusa, presentan concentraciones de nitrógeno total (NT) por encima de la categoría 4, ello indica que existen fuentes externas.
- Las aguas de las lagunas Palca, Serusa, al igual que los ríos Paratía, Palca, Vilavila, Cabanillas y Lampa no presentan problemas de contaminación con metales pesados.
- Con respecto a la presencia de metales pesados, las aguas del río Coata, no presentan indicios de contaminación por estos parámetros (MINAM, 2013).

Codenet (2017), en el primer informe técnico trimestral del monitoreo ambiental de la calidad del agua y suelo del distrito de Huata, concluye que, en los puntos de monitoreo del distrito de Huata, se encuentran los siguientes parámetros anormales: arsénico, hierro, manganeso y coliformes fecales. En el Puente Independencia, sobre el río Coata, se

encuentran los siguientes parámetros anormales: aluminio, arsénico, hierro, mercurio, manganeso, plomo y coliformes fecales: y en el río Torococha afluente del río Coata, se encontraron los siguientes parámetros anormales: arsénico, hierro, mercurio, manganeso y coliformes fecales.

Quiroz *et al.* (2017), en la investigación, desarrollada en el río Portoviejo, Ecuador, en la Tabla 5 se muestra el resumen de los ICA obtenidos, en donde se evidencia que los ICA van disminuyendo en la trayectoria del cauce del río, en el orden promedio de 59,18; 50,28; 42,88 y 34,76 desde el punto 1 al punto 4 respectivamente.

Este resultado es coherente con el deterioro paulatino, a lo largo del curso del río, de los valores de los parámetros.

Tabla 5
Resultados del ICA en los puntos de tomas de muestras

Semanas	Puntos de toma de muestras							
	1 (Santa Cruz)		2 (Ciudadela La Paz)		3 (Puente Las Piedras)		4 (Puente 5 de junio – Picoazá)	
	ICA	Calidad	ICA	Calidad	ICA	Calidad	ICA	Calidad
1	59,19	Media	51,03	Media	41,55	Mala	38,41	Mala
2	59,14	Media	50,09	Mala	43,74	Mala	33,07	Mala
3	59,22	Media	49,74	Mala	43,37	Mala	32,81	Mala

Fuente: Quiroz, L. *et al.* (2017).

En ninguno de los períodos en que se tomaron muestras en todo el tramo evaluado, los resultados arrojaron valores de ICA que permitieran considerar el agua como de buena calidad, deteriorándose más en todos los casos a partir de la Ciudadela La Paz (punto 2), y con características críticas a partir del Puente Las Piedras y 5 de junio (puntos 3 y 4).

Samboni *et al.* (2007), en la revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua, indica que, independientemente del tipo de variables usadas en el monitoreo de una fuente, siempre se genera un gran número de datos, que requieren de un tratamiento e interpretación; tarea dispendiosa y de complejo entendimiento en el proceso de la valoración de la calidad ya que en muchas ocasiones se incurre en la pérdida de información o gastos que no justifican los resultados obtenidos. En el Perú en forma general se han aplicado dos indicadores: el ICA-NSF y un modelo desarrollado en Cuba por Jorge García, Atilio Beato y Joaquín Gutiérrez, en el cual se considera, además de los parámetros del ICA-NSF, la conductividad eléctrica, cloruros y el nitrógeno amoniacal (OEA, 2004).

Guerrero & Zabala (2006), concluye que la actividad minera en la cuenca ha originado pasivos ambientales de minas abandonadas (La Poderosa y Cecilia), y en actividad (San Rafael, Ananea y Rinconada), que están afectando el medio ambiente. Por sectores se encontró, en las muestras de sedimentos altos valores en metales pesados, relacionados a las rocas existentes en el lugar.

Ocola & Laqui (2017), en el documento, Fuentes contaminantes en la cuenca del Lago Titicaca, llegaron a la conclusión de que en la cuenca del río Coata existen nueve ciudades, que cuentan con una población urbana total de 280,523 habitantes, según proyecciones del INEI (2013). La ciudad de Juliaca es el centro urbano más habitado, pues allí viven un poco más de 268 mil habitantes; y es también, por eso mismo, la urbe que genera la mayor cantidad de aguas residuales municipales y de residuos sólidos. Las primeras son derivadas de las lagunas de oxidación (actualmente colapsadas), y los segundos del botadero municipal de Chilla, que ocupa una superficie aproximada de 6 hectáreas, colindantes con las lagunas de oxidación. Se estima que los nueve centros urbanos del ámbito de la cuenca del río Coata vierten anualmente a los diversos afluentes del río Coata un volumen de 10.7 Hm³ de aguas residuales crudas (342.2 L/s); mientras que la generación total se ha estimado en un poco más de 54 mil toneladas anuales, de los cuales el 93.56 % (51 163 TM) es producido por la ciudad de Juliaca y equivalente a una producción per cápita de 0.523 Kg/persona/día (MINAM, 2012). En los nueve centros urbanos, restantes estas cifras fluctúan entre 0.455 Kg/persona/día y 0.474 Kg/persona/día.

Gil *et al.* (2018), determina que los valores de ICA calculados para 7 estaciones en la cuenca del río Guarapiche variaron de 44.38 a 363.79. El valor promedio observado fue de 83.10 lo que califica en forma general a las aguas en un nivel II, como aguas de buena calidad. La Tabla 6, muestra el porcentaje de muestras de agua que caen bajo las diferentes categorías de calidad. Por lo tanto, el 14.29 % del agua del río se ubicó en la clase I: agua excelente, el 71.42 % en clase II - agua buena, el 11.90% en clase III pobre, el 2.38 % en clase IV muy pobre y solo el 2.38 % en clase V no apta para consumo humano. Si se toma el valor de ICA de 100, como límite superior o umbral para agua potable, podemos decir 83.34 % (suma de las clases I y II), son aptas para consumo humano.

Tabla 6

Clasificación calidad de agua de acuerdo al valor del índice de calidad del agua

Valor del ICA	Clase	Calidad del Agua	% de la Muestra Estudiada
<50	I	Excelente	14.29
50-100	II	Buena	71.42
100-200	III	Pobre	11.9
200-300	IV	Muy Pobre	2.38
>300	V	No apta para consumo humano	2.38

Fuente: Gil-Marín *et al.* (2018).

Custodio *et al.* (2013). concluye que el índice de calidad de agua para cada sector y época de muestreo fue obtenido a partir de los indicadores fisicoquímicos y bacteriológicos a través del índice de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norte América (INSF). Los parámetros determinados *in situ* fueron: oxígeno disuelto (mg/L), sólidos totales disueltos (mg/L), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, turbidez (FTU). Estas mediciones se realizaron con equipos portátiles Hanna Instruments, los resultados se muestran a continuación:

Tabla 7

Comportamiento del INSF en los tres sectores

Sector	INSF en época	
	Lluvia	Estiaje
Angasmayo	75.14	74.23
Huarisca	67.96	65.22
Pilcomayo	61.39	55.82

Fuente: Custodio *et al.* (2013).

Balmaceda & García (2014), para el cálculo del índice de calidad de las aguas y su evaluación se empleó una aplicación en Excel creada por la división de manejo del recurso agua de los gobiernos de Newfoundland y Labrador en Canadá (WRMD, 2005). Se prepararon cinco protocolos para el cálculo del CCME_WQI, ellos fueron: (i) todas las muestras; (ii) separación de los datos por períodos de muestreo, es decir, húmedo y seco; (iii) separación de los datos por origen de las aguas, o sea, superficiales y subterráneas. Finalmente se emplearon los criterios de la Tabla 8 para la clasificación de las aguas después de calculado el índice.

Tabla 8
Criterios para la clasificación de las aguas

CCME_WQI	Clasificación	Descripción
95-100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia virtual de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
80-94	Buena	La calidad del agua está protegida con algunas amenazas o daños de poca magnitud. Las condiciones raramente se apartan de los niveles naturales o deseados.
65-79	Regular	La calidad del agua es usualmente protegida pero ocasionalmente es amenazada o dañada. Las condiciones a veces se apartan de los niveles naturales o deseados.
45-64	Marginal	La calidad del agua es frecuentemente amenazada o dañada. Las condiciones con frecuencia se apartan de los niveles naturales o deseados
0-44	Pobre	La calidad del agua está casi siempre amenazada o dañada. Las condiciones usualmente se apartan de los niveles naturales o deseados.

Fuente: Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas (2014).

INGEMMET (2018), estudios realizados por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú, identifican a escala regional 25 franjas metalogenéticas (Anexo 2) en estas, el mayor porcentaje ha evolucionado durante el “Ciclo Andino”. Las edades de mineralización de los depósitos han sido establecidas en épocas y tipos de depósitos, representándolas en franjas metalogenéticas, donde tienen su mayor expresión desde el Paleozoico hasta el Cuaternario (Anexo 3).

Cerpa *et al.* (2015), en resumen, los trabajos de campo, permiten reconocer siete corredores estructurales que controlan el desarrollo metalogenético de la zona. Estos son: a) Ocuvi-Yauri, b) Cupi-Colque, c) Las Águilas, d) Palca-El Cofre, e) Parihuana-Quiscas, f) Arasi y g) Cacurani-Sabina.

Esta distribución de corredores y las características comunes entre ellas facilita reconocer cuatro etapas metalogenéticas, la primera relacionada a los depósitos polimetálicos en estructuras emplazados en el Grupo Puno (corredores de Ocuvi-Yauri y Cupi-Colque). La segunda etapa está relacionada a depósitos asociados a los intrusivos de edad miocena emplazados en el corredor Cupi-Colque. La tercera etapa muestra una mineralización del Mioceno inferior relacionada a yacimientos epitermales de baja-intermedia sulfuración (corredores Las Águilas y Palca-El Cofre). Y la última etapa de mineralización es posterior al periodo Sillapaca que se encuentra caracterizado por los yacimientos epitermales de alta sulfuración del Mioceno superior, delimitados por los corredores Parihuana-Quiscas, Arasi y Cacurani-Sabina.

Pajuelo (2016), los fluidos transportan información de las rocas ubicadas en profundidad, en el caso de Jaraña las precipitaciones de sinter contienen elementos de Ag, Cu, As, Pb, Sn y Fe, permite conocer que el agua en profundidad circuló por zonas dominadas por estos elementos. En el caso de las rocas con sílice pervasiva ubicadas en la falla Lagunillas, en Atecata presentan elementos de Cu y Mo, registrando zonas mineralizadas cercanas a la falla.

Las rocas de sílice tipo pervasiva encontradas en la prolongación de la falla Sillapaca, permitió conocer que la circulación de sílice ocurrió hasta en cuatro (4) oportunidades, demostrando la dinámica ocurrida a través de esta falla.

Apaza (2014), en la zona de Huata, el arsénico está presente en un medio oxidante debido a la poca profundidad de la superficie freática donde el oxígeno disuelto está presente en mayor concentración. La correlación de datos evidencia que en el rango de valores entre 2 a 6.85 mg/L de OD, se presentan concentraciones de arsénico entre 10 mg/L a 250 mg/L en la forma de As^{+5} . En esta zona predominan aguas subterráneas de mala calidad, la conductividad eléctrica varía en el rango de 800 $\mu S/cm$ a extremadamente altos mayores a 4000 $\mu S/cm$, los niveles de dureza también son altas hasta 660 ppm. En cuanto a la ocurrencia de arsénico, predominan concentraciones en el rango de 10 mg/L a 50 mg/L en 14 pozos evaluados, y en tres (3) pozos las concentraciones se encuentran en el rango de 50 mg/L a 250 mg/L.

En los sedimentos superficiales de la cuenca baja del río Coata, hay presencia de las concentraciones de los metales pesados como Cd, Cr y Pb, sin embargo el Pb y Cd están por debajo de los límites establecidos en los estándares de calidad ambiental, mientras que el Cr se encuentra por encima de los ECA para suelos, además la concentración de Cd y Pb disminuye desde el primer punto hasta el punto cinco, pero el Cr tiene distinto comportamiento con los dos anteriores, asimismo, el punto más crítico es la desembocadura del río Torococha (Quispe *et al.*, 2019).

Al comparar los resultados de los dos monitoreos, solo el primero sobrepasa dos parámetros físico químicos establecidos por el ECA – Agua (cloruros: M1= 9217.78; M2= 7090.6 y M3= 7799.6 y pH: M1=4.5; M2=4.03; M3= 4.3). Por lo tanto, se concluye que al aplicar los cálculos del índice de calidad ambiental de Agua (ICA-PE), en el río Muyoc, se obtiene como resultado una buena calidad del agua; en tanto, en el segundo análisis ningún parámetro sobrepasa el ECA – Agua (Jiménez & Llico, 2019).

ANA (2014), de la evaluación realizada a los cuerpos de agua superficial, en la cuenca del río Coata en octubre del 2014 (época estiaje) y comparado con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental - Agua, se obtuvieron los siguientes resultados:

Lagunas y ríos tributarios al río Coata

- Las aguas de las lagunas Palca y Serusa, ubicadas en la cabecera de la cuenca del río Coata, presentaron elevadas concentraciones de plomo y zinc, asociada a la naturaleza mineral de la zona y a la presencia de pasivos mineros.
- Las aguas de la laguna Lagunillas registraron un pH básico asociado a la abundancia de macrófitas acuáticas bentónicas, cuya expansión está relacionada a la acumulación de fósforo en la laguna.
- Las aguas de los ríos Vilavila, Lampa, Paratía y Cabanillas, registraron una elevada carga bacteriológica de origen fecal asociada a las descargas de aguas residuales sin tratamiento.
- Las aguas de los ríos Verde, Ichocollo y Cabanillas, presentaron elevadas concentraciones de cloruros, característica natural de la zona.
- Las aguas del río Torococha registraron las mayores concentraciones de carga microbiológica de origen fecal, compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos y metales, asociadas a las descargas directas de aguas residuales sin tratamiento y vertimientos de agua residual deficientemente tratadas.
- Los sedimentos de los ríos Paratía y Verde, registraron concentraciones considerables de cadmio, plomo y zinc, por otro lado, los ríos Verde e Ichocollo, registraron elevados niveles de arsénico, ambos asociados a la naturaleza geológica de la zona.
- Los sedimentos del río Torococha, registraron elevadas concentraciones de los elementos metálicos tales como: arsénico, mercurio y zinc.

Río Coata

- Las aguas del río Coata antes de la descarga del río Torococha; se caracterizaron por presentar pH básico, la bacteria *Escherichia Coli*, carbonatos, cloruros y boro.
- Las aguas del río Coata, luego de la descarga del río Torococha, registraron parámetros

que transgredieron los ECA-Agua tales como pH básico, cloruros, nitritos, y boro; registrando la mayor concentración en el punto RCoat2, antes de la descarga al lago Titicaca.

- La abundancia de algas bentónicas en el lecho del río Coata, podría estar relacionado a la elevada concentración de fósforo total en el agua.
- Los sedimentos del río Coata, se caracterizaron por registrar arsénico, cadmio, plomo y zinc, con la mayor acumulación en el puente Suches, dichos elementos no afectan al medio acuático.
- El Perú no cuenta con Estándar de Calidad Ambiental para sedimentos, la evaluación de los sedimentos realizada a la cuenca del río Coata, en base a las Directrices del Ministerio del Ambiente de Canadá, constituye una evaluación referencial, así, los resultados obtenidos no deben ser considerados como un índice de contaminación de sedimentos o de bioacumulación de los metales en los organismos acuáticos.

OEFA (2015), el monitoreo de aguas superficiales y sedimentos se desarrolló del 7 al 9 de abril de 2015 en la cuenca del río Coata y sus afluentes: ríos Lampa, Cabanillas y Torococha. Las aguas subterráneas fueron monitoreadas específicamente en dos pozos tubulares ubicados en los distritos de Juliaca y Caracoto, al margen derecho del río Coata.

Tabla 9
Resultados del monitoreo de la calidad de sedimentos

Parámetro	Unid.	Puntos de monitoreo							CEQG-PEL
		RLa-01	RLa-03	RCa-02	RCo-02	RCo-03	RCo-04	RTo-01	
Sulfuros	mg/Kg	0,193	0,030	<0,014	0,170	<0,014	0,028	0,084	-
Arsénico Total (As)	mg/Kg	26,6	14,5	25,5	40,0	19,4	42,0	<0,8	17
Cadmio Total (Cd)	mg/Kg	2,43	0,33	<0,04	0,84	<0,04	2,08	<0,04	3,5
Cobre Total (Cu)	mg/Kg	36,9	16,0	10,8	29,74	13,3	36,9	54,65	197
Cromo Total (Cr)	mg/Kg	5,07	6,54	5,21	9,06	5,54	8,91	8,02	90,0
Plomo Total (Pb)	mg/Kg	119,8	62,1	35,5	47,96	10,6	45,5	51,63	91,3
Zinc Total (Zn)	mg/Kg	702,7	286,6	241,1	242,2	55,2	413,8	245,4	315

Valores que exceden el PEL

- No establecido en la norma.

(a) Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment (CEQG). Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life - Fresh water.

(b) Probable Effect Level/ (PEL): Concentración sobre la cual se encuentran efectos biológicos adversos con frecuencia.

< "Valor": significa que los resultados se encuentran por debajo del límite de cuantificación, el cual es "Valor".

Fuente: OEFA (2015).

ANA (2015), la evaluación en cuerpos naturales de agua superficial, en el ámbito de la cuenca baja del río Coata, realizados en setiembre de 2015 (época estiaje) y comparado con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental ECA-Agua, se obtuvieron los siguientes resultados:

Lagunas y ríos tributarios al río Coata

- Las aguas de las lagunas Palca y Serusa, en la cabecera de la cuenca del río Coata, presentaron elevadas concentraciones de cobre, plomo y zinc, asociada a la naturaleza mineral de la zona y a la presencia de pasivos mineros cercanos.
- Las aguas en la laguna Lagunillas registraron un pH básico asociado a la abundancia de macrófitas acuáticas bentónicas, cuya expansión refleja la acumulación de fósforo en la laguna.
- Las aguas de los ríos Verde, Ichocollo y Cabanillas, presentaron elevadas concentraciones de cloruros, debido a las características salinas de la zona.
- Las aguas del río Torococha, registraron las mayores concentraciones de carga microbiológica de origen fecal, compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos y metales, asociadas a las descargas directas de aguas residuales sin tratamiento.

Río Coata

- Las aguas del río Coata se caracterizaron por presentar condiciones naturales salinas antes y después de la descarga del río Torococha.
- Las aguas del río Coata, luego de la descarga del río Torococha presentan alteraciones de los parámetros DQO, NO₂, B, Mn. evaluados según los ECA-Agua. CAT3.
- La abundancia de algas bentónicas en el lecho del río Coata, podría estar relacionado a la elevada concentración de fósforo total en el agua.

ANA (2019), desarrollaron el decimoquinto monitoreo participativo de la calidad de agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata, entre el 23 al 30 de setiembre de 2019 (periodo de estiaje). Se tomaron 19 muestras en los puntos de monitoreo de los cuerpos naturales de agua, ubicados en los tributarios (LPalc, LSeru, LLAGu, RVila, RLamp1, RLamp2, RVerd, RPara1, RIcho, RCaba2, RToro2), río principal río Coata (RCoat1, RCoat2, RCoat3) y en la desembocadura al Lago Titicaca, (LCoat, LCoat1, LCoat2,

LCoat3). Del análisis de la información de campo y reportes de ensayo (62999, 62379, 64322, 62379, 62747, 63241, 63024, 63774, 63246, 64325-2019) del laboratorio ALS LS PERU S.A.C. acreditado por INACAL-DA con Registro N° LE – 029, se arriba a las siguientes conclusiones:

Evaluación de la calidad en cuerpos tributarios:

- Laguna Palca (LPalc), presenta afectación por Oxígeno disuelto, Plomo y Zinc. El Plomo total y Zinc total son atribuibles a la naturaleza mineral de la zona y a la existencia de pasivos mineros cercanos (Pomasi, mina Palca).
- Laguna Serusa (LSeru), presenta afectación por Oxígeno disuelto, Nitrógeno total, Mercurio, Plomo y Zinc total.
- Laguna Lagunillas (LLagu), hay afectación por cuatro (04) parámetros: Oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica, Fósforo total y Nitrógeno total.
- Río Vilavila (RVila), presenta afectación por Oxígeno disuelto y pH básico.
- Río Verde (RVerd), presenta afectación por seis (06) parámetros que incumplen el ECA 4-E2: Oxígeno disuelto, Arsénico, Cadmio, Plomo, Talio y Zinc.
- Río Ichocollo (RIcho), presenta afectación por Oxígeno disuelto y Arsénico.
- Río Cabanillas (RCaba2), presenta afectación por Oxígeno disuelto, Cloruros y Arsénico.
- Río Lampa (RLamp1), presenta afectación por hipoxia, Manganeseo total y coliformes termotolerantes.
- Río Lampa (RLamp2), presenta hipoxia y pH básico.

Evaluación de la calidad en el río principal:

- Río Coata (RCoat1), presenta afectación por hipoxia, cloruros y Arsénico.
- Río Torococha (RToro2), presenta la mayor afectación con seis (06) parámetros: Bicarbonato, DBO, DQO, Detergentes, Manganeseo total y Coliformes termotolerantes. Recibe el vertimiento de aguas residuales municipales de la EPS SEDAJULIACA.

- Río Coata (RCoat), a 12 Km de la confluencia con el río Torococha, presenta afectación por Oxígeno disuelto, y detergentes.
- Río Coata (RCoat2), proximidades al puente Coata, presenta afectación por Oxígeno disuelto y Manganeseo.
- Desembocadura del río Coata en el Lago Titicaca (RCoat3), el río Coata se encuentra afectado por pH básico y Oxígeno disuelto.

Evaluación de la calidad en la desembocadura al Lago Titicaca.

- En la margen izquierda de la desembocadura del río Coata (LCoat), presenta afectación por cuatro (04) parámetros como Oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica, Fósforo total y Nitrógeno total.
- En el Lago Titicaca aguas adentro Capachica (LCoat1), la afectación de la calidad del agua se produce por Fósforo total y Nitrógeno total.
- En el Lago Titicaca zona Coata-Capachica (LCoat2), existe afectación por Oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica, Fósforo total y Nitrógeno total.
- Próximo a la península de Capachica (LCoat3), presenta afectación por Oxígeno disuelto (hipoxia), Conductividad eléctrica y Nitrógeno total.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible. Esta sustancia se torna de vital importancia en todas las regiones del medio ambiente, y es el único compuesto que existe a temperaturas ordinarias en los tres estados de la materia. Cubre las tres partes de la superficie terrestre y es esencial en los sistemas vivos, siendo el medio por el que la vida evoluciona y en el que la vida exista.

En consecuencia, tal como sostienen Cabildo *et al.* (2013), el agua es un elemento básico para la vida del ser humano, tanto para su existencia como para su utilización en actividades industriales, domésticas o agrícolas, pero, los seres humanos ya emplean la mitad de los recursos de agua dulce del mundo y su consumo va en aumento. Las consecuencias son palpables: la erosión de los suelos, el aumento de zonas desérticas, la desaparición de las zonas húmedas y el descenso del nivel de los lagos y ríos. Las implicancias que esto tiene para la salud, para la producción de alimentos, para la supervivencia de las poblaciones humanas, de plantas y animales y para la paz, son inmensas.

En la Estrategia Nacional para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos, ANA (2016), la oferta hídrica en el Perú dispone de un volumen anual promedio de 1 768 512 MMC de agua, encontrándose el 97.2 % del volumen en la vertiente del Amazonas, en donde se asienta el 30% de la población; el 0.5% se encuentra en la vertiente del Titicaca que alberga a un 5% de la población y el 2.3% restante, en la vertiente del

Pacífico que reúne al 65% de la población. Los recursos hídricos del país presentan diferencias significativas en cuanto a su disponibilidad debido al crecimiento demográfico, el cambio de uso territorial que prioriza el uso urbano, la desigual distribución espacial del agua y su variabilidad estacional. Así mismo el manejo inadecuado de aguas residuales, residuos sólidos poblacionales, residuos agroquímicos de la agricultura; presencia de pasivos ambientales mineros e hidrocarburíferos, minería informal e ilegal; actividades de deforestación; además de factores ambientales y características naturales muestran evidencias de afectación a la calidad del recurso hídrico.

En nuestro país, el proceso de contaminación que sufren los recursos hídricos, tiene un origen mayormente antrópico. Como consecuencia los vertimientos en cuerpos de agua lóticos y lénticos, aumentan la concentración de elementos que alteran la calidad del agua, ya que estos cuerpos se constituyen en sumideros de todo tipo de residuos.

Los resultados de la calidad de los recursos hídricos del periodo 2000-2012 determinan que los parámetros: coliformes termotolerantes, arsénico, plomo y cadmio asociados a las descargas de aguas residuales poblacionales, pasivos ambientales mineros, minería informal (donde corresponde) y características naturales, por la geología, muestran niveles de afectación a la calidad de los recursos hídricos con fines de riego (en las tres vertientes) y para fines poblacionales (vertientes del Pacífico y Amazonas).

Además, los parámetros Coliformes termotolerantes, DBO₅, cadmio, arsénico y plomo (vertiente del Pacífico) y pH, arsénico, cadmio, plomo y mercurio (vertiente del Titicaca) muestran niveles de afectación a la calidad de los recursos hídricos con fines de conservación del ambiente acuático. Los cuales se encuentran asociados a las descargas de aguas residuales poblacionales, pasivos ambientales mineros, minería informal (donde corresponde) y otros vinculados a las características naturales de las cuencas hidrográficas.

Durante el periodo 2013-2014, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en sus intervenciones en la identificación de fuentes potenciales de deterioro de la calidad de los recursos hídricos, registró un total de 4 147 fuentes de afectación en las tres vertientes hidrográficas; la vertiente del Pacífico registró 2 283 fuentes que corresponden al 55%, la vertiente del Amazonas 1 602 (39%) y la vertiente del Titicaca con 262 fuentes (6%), donde la causa de afectación a los cuerpos de agua del país es la descarga de aguas

residuales poblacionales la fuente de mayor presión sobre los recursos evaluados (1 709 fuentes; 41% del total), seguido de la disposición inadecuada de los residuos sólidos (911 fuentes; 22% del total).

La cuenca del Lago Titicaca, es una cuenca endorreica, cuya extensión es de 57 708 Km², de los cuales 8 167 Km² pertenecen al lago, con una amplitud máxima de 125 Km y una extensión de 400 Km. Cuenta con cinco tributarios principales: ríos Ramis, Huancané, Coata, Ilave y Suches y un efluente el río Desaguadero. Cada uno de estos tributarios presentan desequilibrios y complejas interacciones que afectan la calidad ambiental del agua, positiva o negativamente como producto de la acción humana o de origen natural. La Unidad Hidrográfica Coata está siendo impactada por el vertimiento de efluentes de actividades productivas, aguas residuales domésticas sin tratamiento proveniente de las poblaciones que se encuentran asentadas a lo largo de su cauce, así como de la generación de residuos sólidos. Esta afectación se trasluce en las concentraciones de elementos que superan los Estándares de Calidad Ambiental para el agua (ECA-Agua), pero no permiten tener una apreciación objetiva de cuál es la calidad del agua.

2.2 Enunciados del problema

2.2.1 Enunciado general

¿Cómo están caracterizadas las aguas superficiales de la Unidad Hidrográfica Coata y cuál es la calidad del agua superficial evaluada mediante el Índice de Calidad de Agua ICA-.PE?

2.2.2 Enunciados específicos

- ¿Cuál es la formación geológica de la Unidad Hidrográfica Coata?
- ¿Cuáles son las fuentes de contaminación en la Unidad Hidrográfica Coata?
- ¿Cuál es la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata, evaluada mediante el Índice de Calidad de Agua ICA-PE?

2.3 Justificación

La Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, establece la planificación de la gestión del agua en sus artículos 97° al 99°, cuyo objetivo es equilibrar y armonizar la oferta y demanda del agua protegiendo su cantidad y calidad, propiciando su utilización eficiente

y contribución con el desarrollo local, regional y nacional.

El Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG, en el artículo 7° *Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos*, establece que el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, conformado por el conjunto de Instituciones, principios, normas, procedimientos, técnicas e instrumentos mediante los cuales el Estado se organiza para desarrollar y asegurar la gestión integrada, participativa y multisectorial, el aprovechamiento sostenible, la conservación, la protección de la calidad y el incremento de la disponibilidad de los recursos hídricos.

La calidad de los recursos hídricos en el Perú hasta el 31 de marzo del año 2009 estuvo regulado en el marco del Decreto Ley N° 17752 Ley General de Aguas, a cargo del Ministerio de Salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) como autoridad sanitaria encargada de la vigilancia de la calidad sanitaria de los recursos hídricos y control de vertimientos y reúso de aguas residuales tratadas; asimismo en este marco el Ministerio de Agricultura, hoy Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI, a través de la Administración Técnica de los Distritos de Riego (ATDR), como autoridad del agua, se encargaba de regular el uso del agua. El uso del agua estuvo clasificado en seis clases y la clasificación del recurso hídrico estuvo referido en aplicación de los valores límites de parámetros biológicos, químicos y orgánicos.

Desde el primero de abril del año 2009, entra en vigencia la Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos, siendo la Autoridad Nacional del Agua-ANA el ente rector y la máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH), responsable de la vigilancia, control y fiscalización para asegurar la preservación y conservación de las fuentes naturales de agua, a través de una gestión integrada. En este marco el uso del agua está definido de acuerdo a su orden y prioridad en primario, poblacional y productivo y la calidad de los recursos hídricos se establecen a través del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA-Agua) en cuatro categorías indicadas en el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, modificado por el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM y ambos Derogados por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

Las evidencias del deterioro de la calidad de los recursos hídricos, asociadas al desarrollo de actividades poblacionales y productivas, pasivos ambientales, manejo inadecuado de

residuos sólidos y factores naturales, conllevan al diseño de instrumentos normativos y de gestión que permitan realizar una eficiente vigilancia y fiscalización de la calidad de los recursos hídricos.

Como quiera que en la Unidad Hidrográfica Coata, existen actividades que ponen en riesgo la calidad y cantidad del recurso, desde el año 2011 se vienen realizando monitoreos participativos de la calidad del agua superficial, cuyos resultados, en función a la superación o no del ECA-Agua según la categorización asignada por la ANA y la identificación de fuentes de contaminación en las cuencas hidrográficas a nivel nacional, se constituyen en una lista de valores numéricos que no son fácilmente entendibles e interpretadas para medir los cambios en la calidad del agua en diferentes tramos del mismo río y realizar las comparaciones respectivas y determinar si un tramo o no del río es saludable o no.

El contar con una importante cantidad de datos de la calidad del agua, obtenidos a partir de los monitoreos participativos, crea la necesidad de integrarlos a través de una herramienta que sea útil para la comprensión y comunicación de dicha información sobre el estado y evolución del recurso y que permita una evaluación real del estado de la calidad del agua.

Por tanto, se hace necesario emplear una herramienta que permita resumir y promediar la calidad del agua y expresar los resultados de manera simplificada facilitando su manejo, interpretación y comparación por parte de los especialistas de calidad del agua, actores vinculados con la gestión y administración de los recursos hídricos y el público en general.

El uso del índice de calidad de agua (ICA) nos permite conocer el grado de contaminación del agua a la fecha de muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura.

En la investigación, mediante la metodología para la determinación del índice de la calidad de agua ICA-PE, ANA (2018), se pretende precisar la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata, con la finalidad de tener la valoración simplificada de la calidad del agua y que contribuya al mejor entendimiento de la gestión de la calidad de los recursos hídricos.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Caracterizar la Unidad Hidrográfica Coata y evaluar la calidad del agua superficial mediante el índice ICA-PE.

2.4.2 Objetivos específicos

- Describir la formación geológica en la Unidad Hidrográfica Coata.
- Determinar las fuentes de contaminación presentes en la Unidad hidrográfica Coata.
- Determinar la variación de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata por comparación en la red de monitoreo utilizando el índice ICA-PE.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

Las formaciones geológicas y las fuentes contaminantes presentes en la Unidad Hidrográfica Coata afectan la calidad del agua superficial de manera notoria.

2.5.2 Hipótesis específicas

- La formación geológica de la Unidad Hidrográfica Coata no es uniforme.
- Las principales fuentes de contaminación en la Unidad Hidrográfica Coata son: aguas residuales, residuos sólidos y actividades productivas.
- La calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata se deteriora por efecto acumulativo de las fuentes de contaminación.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudios

El estudio se desarrolló en la Unidad Hidrográfica Coata, constituida por una cuenca alta, media y baja, según su gradiente altitudinal. Es comprensión de la Región Hidrográfica del Titicaca que por sus características es una cuenca endorreica, posee cinco tributarios principales (ríos Suches, Ramis, Huancané, Coata e Ilave) y un efluente el río Desaguadero.

3.1.1 Ubicación.

- Provincias de : San Román, Lampa y Puno
- Departamento : Puno
- Región : Puno

Coordenadas geográficas:

Latitud Sur : 15° 06' 36" – 15° 55' 12"

Longitud Oeste : 71° 06' 00" – 69° 55' 12"

Coordenadas UTM:

Norte : 8'328,509 – 8'239,696

Este : 282,907 – 401, 525

Variación altitudinal : 5,300 – 3,800 m.s.n.m.

Límites hidrográficos:

Norte : Cuenca Ramis.

Sur : Cuenca Ilpa y Cuenca Alto Tambo.

Este : Lago Titicaca.

Oeste : Cuenca Chili y Cuenca Colca Siguas.



Figura 2. Ubicación geográfica de la Unidad Hidrográfica Coata

3.2 Población

Consideramos como población, en el presente estudio, a la Unidad Hidrográfica Coata desde la naciente de los ríos Pumahuasi (laguna Serusa) y Palca, continuando con el río Vilavila, río Lampa, el río Ichocollo, laguna Lagunillas, río Cabanillas y finalmente el río Coata que desemboca en el Lago Titicaca.

Tabla 10

Población de las principales localidades de la Unidad Hidrográfica Coata

Provincia	Distrito	Centro poblado	Población		Categoría	Georreferenciación Coordenadas UTM WGS84		
			Rural	Urbana		Este	Norte	m.s.n.m.
	Juliaca	Juliaca	10,983	217,743	Ciudad	378169	8286716	3,825
San	San Miguel	San Miguel	4,096	58,367	Ciudad	379373	8287739	3,825
Román	Cabanillas	Deustua	2,145	2,422	Pueblo	355237	8270123	3885
	Cabana	Cabana	4,843	--	Pueblo	321216	8269783	3,873
	Vilavila	Vilavila	1,233	--	Pueblo	321592	8320155	4,297
	Palca	Palca	2,732	--	Pueblo	328248	8315050	4,066
Lampa	Lampa	Lampa	5,557	5,649	Ciudad	353444	8300965	3,872
	Santa Lucía	Santa Lucía	1,625	5,403	Ciudad	327858	8263739	4,045
	Paratía	Paratía	2,732	--	Pueblo	328006	8290853	4,363
	Cabanilla	Cabanilla	5,352	--	Pueblo	355383	8272676	3,883
	Huata	Huata	3,155	--	Pueblo	395859	8273415	3,860
Puno	Coata	Coata	6,588	--	Pueblo	398096	8278262	3,821
	Capachica	Capachica	7,540	--	Pueblo	404879	8266672	3,850
TOTAL			58,581	289,584	*Total Población = 348,165 habitantes			

3.3 Muestra

Se toma como muestra información histórica del muestreo de la calidad de agua superficial, período 2015 a 2019, en la Unidad Hidrográfica Coata, correspondiendo 169 muestras a agua superficial tomadas en 19 puntos de la red de monitoreo (Tabla 17) y 37 muestras a sedimentos (años 2013 y 2014), haciendo un total de 216 muestras. El muestreo se realizó durante las épocas de avenida y estiaje de cada año.

Tabla 11

Muestreo de la calidad de agua superficial U. H. Coata 2015 – 2019

Año	Muestreo de agua superficial y sedimentos			
	Agua superficial		Sedimentos	
	Avenida	Estiaje	Avenida	Estiaje
2013	--	--	--	8
2014	--	--	10	19
2015	--	17	--	--
2016	19	19	--	--
2017	19	19	--	--
2018	19	19	--	--
2019	19	19	--	--
TOTAL	76	93	10	27

3.4 Método de investigación

La realización del presente estudio, posee un enfoque cuantitativo, el que, mediante la

cuantificación y análisis de los datos, permite la elaboración de los resultados y conclusiones del trabajo de investigación. Al respecto Naupas *et al.* (2018), sostiene que el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis formuladas previamente, además confía en la medición de variables e instrumentos de investigación, con el uso de la estadística descriptiva e inferencial, el tratamiento estadístico y la prueba de hipótesis; la formulación de hipótesis estadísticas, el diseño formalizado de los tipos de investigación; el muestreo.

Asimismo, la investigación es del tipo documental, descriptiva y explicativa. Documental, de acuerdo con Bernal (2016), porque nos permite analizar, establecer relaciones y estado actual del conocimiento de la información existente de los monitoreos participativos de la calidad superficial de agua de la Unidad Hidrográfica Coata. Descriptiva porque mediante la revisión documental permite analizar y dar una descripción de las características de la Unidad Hidrográfica Coata y Explicativa o causal debido a que se analizan causas y efectos de la relación entre variables (agentes contaminantes e índice de calidad de agua).

3.5 Diseño de la investigación

La investigación, posee un diseño no experimental, longitudinal y comparativa, es considerada no experimental al no realizarse modificaciones en las condiciones ni las variables, solo observados en su realidad longitudinal en razón de que permite analizar cambios al paso del tiempo en determinadas variables, categorías o de la relación entre estas, permitiendo recolectar datos en diferentes momentos o períodos para hacer inferencias respecto al cambio de acuerdo con Hernández *et al.* (2014) y comparativa debido a que permite determinar similitudes, diferencias y la relación entre ellas, de la información disponible en la investigación, según sostiene Gómez & De León (2014).

3.6 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

Caracterización de la Unidad Hidrográfica Coata.

La determinación de los atributos de la Unidad Hidrográfica Coata están en función de los siguientes criterios: aspectos generales, clima. zonas de vida, geomorfología, geología, metalogenia e hidrografía, que permiten desarrollar los métodos por cada objetivo específico de la investigación.

Aspectos generarles

Tabla 12

Características generales de la Unidad Hidrográfica Coata

Características	Descripción
Vertiente hidrográfica	Región Hidrográfica Titicaca
Nombre de la Unidad Hidrográfica	Coata
Ambiente administrativo	AAA Titicaca/ALA Juliaca
Código	0176
Límites hidrográficos	Norte: Cuenca Ramis.
	Sur: Cuenca Illpa y Cuenca Alto Tambo.
	Este: Lago Titicaca.
	Oeste: Cuenca Chili y Cuenca Colca Siguas.
Superficie (Km ²)	4 882.42 Km ²
Perímetro	465.85 Km
Longitud de la cuenca	116.35 Km
Ancho de la cuenca	91.45 Km
Cota mayor de la cuenca	5 268 m.s.n.m.
Cota menor de la cuenca	3 810 m.s.n.m.
Cuerpos de agua lénticos	Lagunas: Serusa, Palca, Lagunillas y desembocadura al Lago Titicaca
Cuerpos de agua lóticos	Palca, Vilavila, Paratía, Verde, Lampa, Ichocollo, Cabanillas, Torococha, Coata
Río principal	Coata
Longitud del río principal	188.57 Km
Drenaje	Radial y dendrítico
Clasificación (formal o referencial) del recurso hídrico principal y tributarios	Categorías: 1-A2, 3 y 4, según R.J. N° 056-2018-ANA, Clasificación de Cuerpos de Agua Continentales Superficiales
Población	348,165 habitantes, rural 16.8% y urbana 83.2%
Actividad económica	Agrícola, pecuario, industrial-minero
Principales usos del agua	Poblacional, agrario, pecuario, industrial, minero

Clima

El clima influye sobre las características morfológicas, distribución geográfica y comportamiento funcional de la flora y fauna, en donde la altitud de las montañas determina las variaciones de temperatura y precipitación. En SENAMHI (2016), se indica que, el clima de la cuenca del Lago Titicaca, es templado en el día y frío en las noches debido a la altitud que es característico de los climas de montaña sometida por su situación geográfica a un régimen tropical, principalmente por la relativa estabilidad de iluminación durante el año. La región Puno presenta un comportamiento térmico que varía de -6°C y 14°C en su media mensual (SENAMHI-DGH, 2009), donde la presencia de la masa de agua del Lago Titicaca permite regular la temperatura de la zona circunlacustre, impidiendo que sus valores desciendan a valores extremos.

En términos generales, la precipitación, temperatura, humedad relativa y evaporación son los principales parámetros que caracterizan a la cuenca del río Coata, de régimen estacional, presenta dos estaciones marcadas, una estación húmeda (noviembre a marzo), otra seca (junio a agosto) y dos periodos de transición (septiembre – octubre y abril – mayo).

Zonas de vida

En la figura 3, se observa la distribución de las zonas de vida en el área de la Unidad Hidrográfica Coata, habiéndose identificado cinco (05) zonas de vida de las 84 que existen a nivel nacional. Al respecto, en el estudio de INRENA (2007) para la cuenca del río Coata se han identificado las siguientes zonas de vida:

- Bosque húmedo Montano Subtropical (bh-MS)
- Nival Subtropical (NS)
- Páramo muy húmedo Subalpino Subtropical (pmh-SaS)
- Tundra muy húmeda Alpino Subtropical (tmh-AS)
- Tundra pluvial Alpino Subtropical (tp-AS)

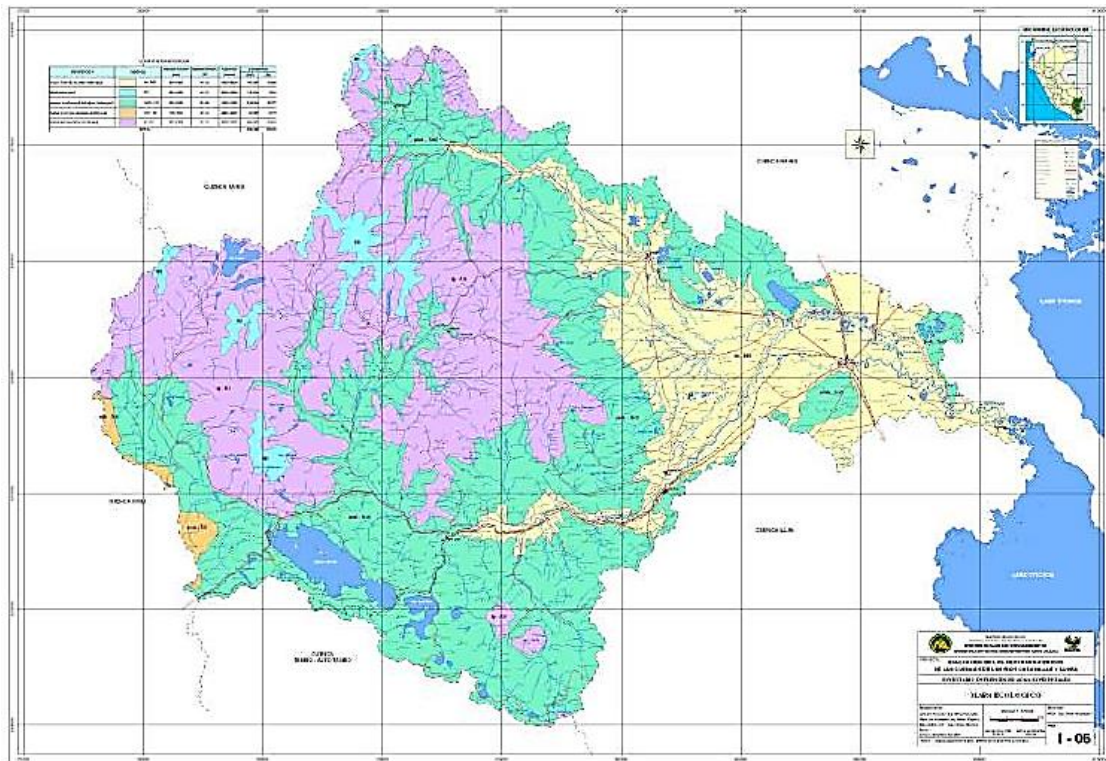


Figura 3. Distribución de las zonas de vida – Unidad Hidrográfica Coata
Fuente: INRENA (2007).

Geomorfología

La Unidad Hidrográfica Coata está ubicada entre las unidades morfoestructurales de la Cordillera Occidental y Altiplano (Laubacher, 1978). Al respecto INGEMMET (2011) reconoce las siguientes unidades geomorfológicas dominantes:

- Cordillera Occidental. Esta unidad, en el área de la Unidad Hidrográfica Coata, cubre la parte Oeste con alturas entre los 3800 y 5000 m.s.n.m. caracterizada por constituir una cadena montañosa conformada por elevaciones y aparatos volcánicos en avanzado estado de erosión, algunos de los cuales son cubiertos por nieves perpetuas.
- Altiplano. Está ubicada entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental, se trata de una meseta elevada conocida como la “Meseta del Collao” o genéricamente “Altiplano”. En realidad, el Altiplano no es una verdadera altiplanicie, sino que se trata de una zona de pampas, colinas aisladas y altas mesetas con una altura variable entre los 3,800 y 4,600 m.s.n.m., constituye una cuenca cerrada con drenaje radial y dendrítico.

La evolución geomorfológica de la región está ligada al levantamiento u orogenia andina, que determinó el afloramiento de rocas mesozoicas, cubiertas a su vez por una potente

secuencia volcánica cenozoica. La tectónica y la acción climática, esencialmente glaciar y fluvioglaciar, han contribuido a configurar la expresión geomorfológica típica del área, cubierta por zonas de bofedales, terrazas fluviales y fondos fluviales.

Geología

La geología de la Unidad Hidrográfica Coata, permite establecer que las rocas más antiguas que afloran en la zona de estudio son las correspondientes a la Formación Calapuja (Ordovícico Superior) constituida por una secuencia de rocas sedimentarias, que afloran en la zona, seguido de la Formación Chagrapi (Silúrico Superior-Devónico Inferior) constituida por una secuencia de lutitas arenosas y limolitas micáceas, con horizontes de calizas con restos de corales, continuando la secuencia con el Grupo Cabanillas, Ambo e Iscay (Devoniano Inferior-Superior, Carbonífero Inferior y Pérmico Superior-Inferior) de rocas sedimentarias. Sigue la secuencia el Grupo Mitu (Pérmico Superior-Triásico) de rocas volcano-sedimentarias, continuando con la Formación Ayabacas (Cretáceo Medio Inferior– Superior) y el Grupo Puno (Paleógeno-Paleoceno), ambas constituidas de rocas sedimentarias, en el Oligoceno y Mioceno Inferior afloran rocas volcano-sedimentarias pertenecientes al Grupo Tacaza constituidas de derrames lávicos, en el Mioceno Superior se presentan las rocas volcánicas pertenecientes al Grupo Palca compuesto por ignimbritas, continua la secuencia con las rocas volcano-sedimentarias del Grupo Sillapaca (Mioceno Superior), Grupo Barroso y Formación Capillune (Plioceno) que comprenden lavas de composición dacítica a traquiandesitas, intercalados con depósitos piroclásticos. Sigue la secuencia con la Formación Azángaro (Plioceno Superior-Pleistoceno) conformada por rocas sedimentarias. En el cuaternario se depositaron los materiales morrénicos, fluvioglaciares y depósitos aluviales recientes.

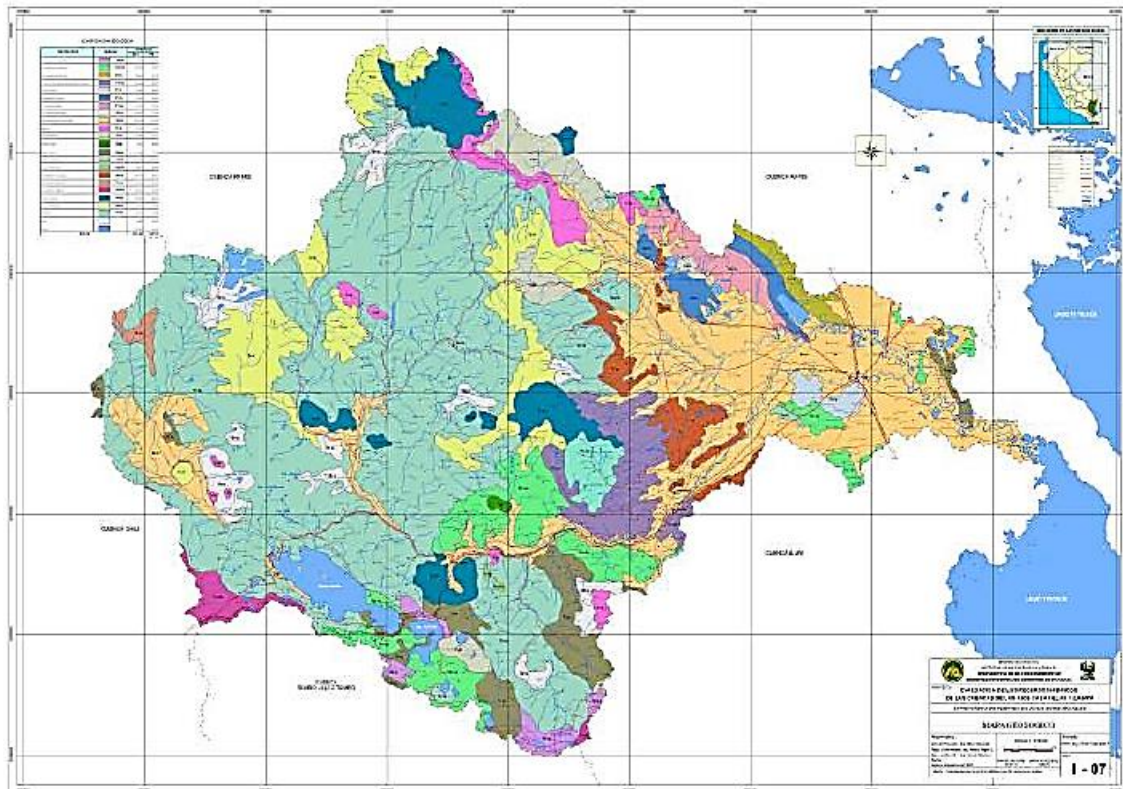


Figura 4. Geología de la Unidad Hidrográfica Coata.
Fuente: INRENA (2007)

Metalogenia.

Acosta *et al.* (2008), sostiene que en sur del Perú se han identificado seis sistemas regionales de fallas, encontrándose la Unidad Hidrográfica Coata dentro de los dominios geotectónicos delimitados por el sistema de fallas Caylloma-Condorama (SFCC) y el sistema de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo (SFCLM).

Los depósitos metálicos en la Cordillera Occidental del sur del Perú, están distribuidos espacialmente dentro de dominios geotectónicos, los cuales están delimitados por sistemas de fallas regionales que han controlado el tipo de mineralización en épocas particulares, definiendo franjas metalogenéticas, que para la Unidad Hidrográfica Coata correspondería en mayor proporción la franja XXI-C, conforme a INGEMMET (2019).

La franja XXI-C denominada Depósitos Polimetálicos Pb-Zn-Cu con superposición epitermal de Au-Ag, se encuentra en la Cordillera Occidental y la mineralización está controlada por dos corredores formados por los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y Condorama-Caylloma-Incapuquio. Las rocas hospedantes corresponden a los volcánicos del Grupo Tacaza, Grupo Palca, Grupo Sillapaca, y la Fm. Capillune, así como

a las calizas de la Fm. Ayabacas. La mineralización es de tipo Cu, Pb y Zn y los yacimientos más importantes son Tacaza (Cu), Santa Bárbara (diseminado de Mn-Cu-Ag), Berenguela (Ag, Cu, Mn), Palca (Pb, Zn, Cu, Ag), Quello Quello (Cu, Pb, Zn y Ag) Pomasi (Pb, Zn, Ag, Cu), Kromar (Cu, Pb, Zn y Ag), El Cofre (Ag, Au, Zn, Pb, Fe). La edad de mineralización está asociada a intrusivos de edades comprendidas entre 22 y 19 millones de años (Ma).

Hidrografía.

La Unidad Hidrográfica Coata, está conformada por nueve subcuencas: subcuenca río Lampa, río Cotaña, río Cerrillos, río Verde, río Jarpaña, río Paratía, Tramo río Coata, Río Cabanillas, Tramo río Cabanillas. Las seis primeras tienen un aporte efectivo de caudal, las tres últimas están definidas como intercuenas al recibir el aporte de las anteriores (INRENA, 2007).

Tabla 13

Sub unidades hidrográficas (subcuencas) – Unidad Hidrográfica Coata

Ítem	Código	Unidad Hidrográfica	Denominación	Río Principal	Superficie		Número de Orden
					(Km ²)	%	
1	01761	Subcuenca	Bajo Coata	Tramo río Coata	459.96	9.37	6
2	01762	Subcuenca	Lampa	Río Lampa	1,559.87	31.78	5
3	01763	Subcuenca	Medio Bajo Coata	Río Cabanillas	314.53	6.41	5
4	01764	Subcuenca	Cotaña	Río Cotaña	251.10	5.12	4
5	01765	Subcuenca	Medio Coata	Tramo río Cabanillas	495.56	10.10	5
6	01766	Subcuenca	Cerrillos	Río Cerrillos	868.15	17.69	4
7	01767	Subcuenca	Medio Alto Coata	Río Verde	210.52	4.29	5
8	01768	Subcuenca	Jarpaña	Río Jarpaña	328.91	6.70	4
9	01769	Subcuenca	Paratía	Río Paratía	419.85	8.55	5
10	0176	Cuenca	Coata	Río Coata	4,908.44	100.00	6

Fuente: INRENA (2007).

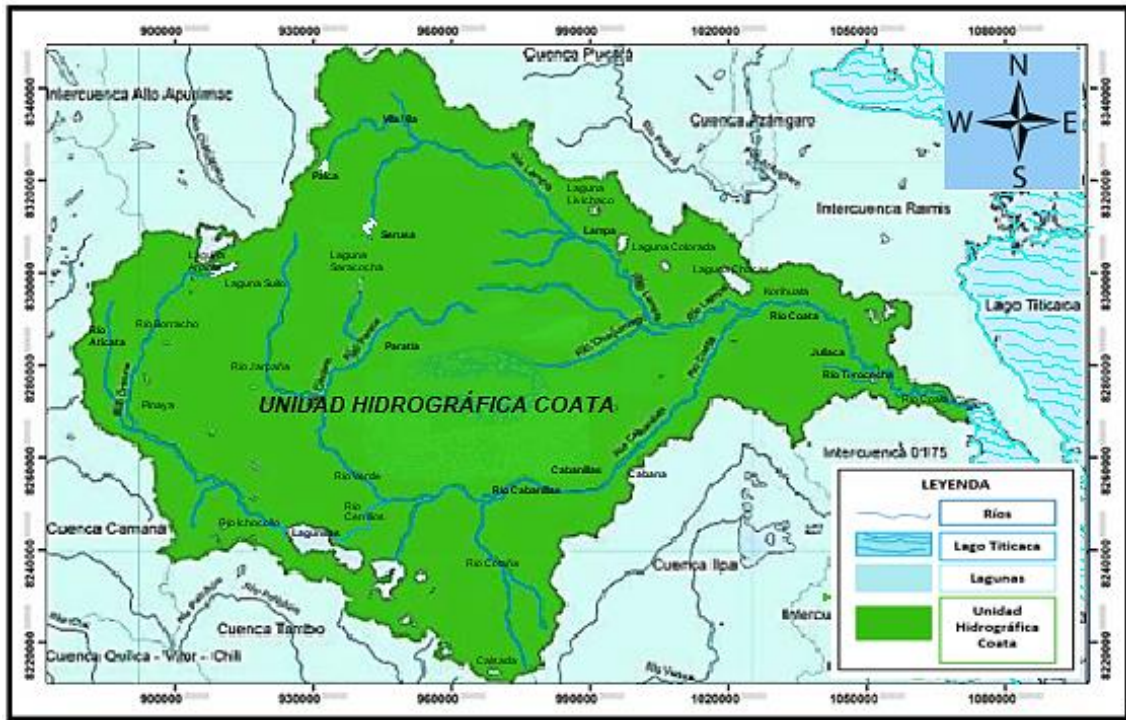


Figura 5. Mapa hidrográfico de la Unidad Hidrográfica Coata

3.6.1 Descripción de formaciones geológicas en la Unidad Hidrográfica Coata

El procedimiento consistió en la recopilación de la información cartográfica de la geología regional y local, a partir de datos oficiales, confiables y verificables siendo el insumo principal las Cartas Geológicas Nacionales y los Boletines Geológicos elaborados por el INGEMMET correspondientes a los cuadrángulos de Ocuwiri (31-u), Juliaca (31-v), Lagunillas (32-u), Puno (32-v) y Acora (32-x).

Se elaboró un shapefile de la información geológica de los mapas geológicos existentes en las cartas nacionales 31-u, 31-v, 32-u, 32-v, 32-x. Seguidamente se procedió a procesarlo como tabla de archivo shapefile de la geología de la zona de estudio. Para la elaboración de los mapas temáticos se empleó el visualizador Arc, elaborándose los mapas temáticos con el visualizador Arc Map del software ArcGIS v. 10, los mapas son proyectados en coordenadas UTM, en el datum WGS 84 y ubicados en la zona 19L y el software Google Earth Pro.

La descripción de las formaciones geológicas de la Unidad Hidrológica Coata, se elaboró en base a la interpretación del mapa geológico de la región Puno (INGEMMET, 2012) y con las especificaciones de agrupación de acuerdo a su composición litológica que presenta cada formación geológica.

3.6.2 Determinación de las fuentes de contaminación presentes en la Unidad Hidrográfica Coata

En la identificación de las principales presiones ambientales de la Unidad Hidrográfica Coata, se empleó la metodología de los lineamientos para la identificación y seguimiento de fuentes contaminantes relacionadas con los recursos hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2018), aprobada con Resolución Jefatural N° 136-2018-ANA. Se evaluó y sistematizó la información recopilada (denuncias anteriores, calidad de agua, información anterior de fuentes contaminantes, información de vertimientos autorizados, actividades socioeconómicas, relación de vertimientos autorizados en la zona y derechos de usos de agua), contrastada con la información de campo y verificación realizada en los monitoreos participativos de la calidad del agua superficial, considerando:

- Fuentes contaminantes relacionadas a los recursos hídricos.
- Codificación de las fuentes contaminantes
- Identificación de fuentes contaminantes.

Tabla 14

Clasificación de las fuentes Contaminantes

Por su Origen	Por su naturaleza	Por su tipo
Fuente Contaminante Natural	Aguas Naturales	Aguas minero medicinales (termal, mineral, termo mineral), procedentes de la deglaciación, aguas de drenaje pluvial.
	Depósitos Naturales	Depósitos no minerales, de sal, de carbón.
Fuente Contaminante Antropogénica	Aguas Residuales	Agroindustrial, agropecuaria, doméstica, energética, hospitalaria, industrial, minero-metalúrgica, municipal, de rechazo (salmuera), de limpieza y mixta
	Residuos Sólidos	De gestión municipal, de gestión no municipal peligrosos, de gestión no municipal no peligrosos.
	Sustancias descargadas “in situ”	Procedentes de lavado de ropa, vehículos, agregados (no metálicos, material acarreo), cilindros, plásticos, alimentos, incorporación de alimentos para peces en jaulas de cultivo, descargas y trasegado de combustibles, descargas fortuitas (derrames).

Fuente; Resolución Jefatural N° 136-2018-ANA.

Tabla 15

Naturaleza y tipo de fuentes contaminantes (FC)

Naturaleza de la FC	Tipo de FC
AN: Aguas Naturales	MT: Agua Minero-Medicinal (Termal).
	MM: Agua Minero-Medicinal (Mineral).
	TM: Agua Minero-Medicinal (Termo-Mineral).
DN: Depósitos Naturales	MS: Minas de Sal.
	MC: Minas de Carbón.
	DN: Depósitos no metálicos.
	AI: Agua Residual Industrial.
AR: Aguas Residuales	AP: Agua Residual Agropecuaria.
	DO: Agua Residual Doméstica.
	EN: Agua Residual Energética.
	HO: Agua Residual Hospitalaria.
	IN: Agua Residual Industrial.
	MM: Agua Residual Minero Metalúrgica.
	MU: Agua Residual Municipal.
RS: Residuos Sólidos	GM: Gestión Municipal.
	GP: Gestión no municipal peligroso.
	GN: Gestión no municipal no peligroso.
IS: Sustancias Dispuestas "In Situ"	Se deberán indicar las iniciales de las actividades realizadas "in situ", ejemplo: lavado de ropa (LR), lavado de vehículos (LV), Derrame de Hidrocarburos (DH), lavado de material no metálico (LN).

Fuente; Resolución Jefatural N° 136-2018-ANA.

La codificación comprende cuatro (04) aspectos: Código del tramo o unidad hidrográfica mayor según Pfafstetter + 02 iniciales de la naturaleza de la fuente contaminante (FC) + 02 Iniciales del tipo de fuente contaminante (FC) + 02 dígitos que corresponderían al número de fuente contaminante (FC).

La numeración de las fuentes contaminantes es de manera correlativa, mediante números de dos dígitos, iniciando por la parte alta hacia la parte baja de la cuenca.

Generada la información temática y sistematizada, se procesó la tabla de archivos shapefile de las fuentes contaminantes, elaborándose los mapas temáticos con el software ArcGIS v. 10 y Google Earth Pro, proyectados en coordenadas UTM, datum WGS 84 y ubicados en la zona 19L.

3.6.3 Determinación de la variación de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata por comparación en la red de monitoreo, utilizando el índice ICA-PE

El proceso se inició con la determinación del área de estudio, caracterización o descripción del área de intervención, red de puntos de monitoreo de calidad del agua superficial, Estándar de Calidad Ambiental para el Agua (ECA - Agua), clasificación de los cuerpos de aguas continentales superficiales, resultados de los monitoreos participativos, seguido del procedimiento para el cálculo del índice de calidad de agua (ICA – PE) y el empleo de herramientas informáticas (GIS, Google Earth).

a) Determinación del área de Estudio:

El área de estudio, en su determinación, se basa específicamente en el enfoque ecosistémico y de cuencas.

En la delimitación y codificación de unidades hidrográficas, según INRENA (2007), en el Perú el método de Pfafstetter permite delimitar unidades hidrográficas de una manera simple, obedeciendo únicamente a criterios naturales; por tanto, su sistema de codificación es analítico, organizado, con características de aplicación global y sobre todo coherente con el territorio.

En el presente estudio, el área corresponde a la zona geográfica de la Unidad Hidrográfica Coata, definido por su geomorfología, gradiente altitudinal y la red de puntos de monitoreo de calidad de agua superficial.

En función a la dinámica hidrológica (Garrido *et al.*, 2010), se ha dividido la Unidad Hidrográfica Coata en tres zonas funcionales distintas: cuenca alta, cuenca media y cuenca baja; la cuenca de la parte alta comprende a los distritos de Palca, Paratía y Santa Lucía; la red hidrográfica está conformada por las lagunas Serusa, Palca, Lagunillas y los ríos Pumahuta, Palca, Paratía, Ichocollo y Verde. La cuenca de la parte media comprende a los distritos de Lampa y Cabanillas; la red hidrográfica está conformada por los ríos Cabanillas y Lampa. La cuenca de la parte baja comprende a los distritos de Juliaca, Coata y Capachica en el que la red hidrográfica está conformada por los ríos Torococha, Coata y su desembocadura en el Lago Titicaca (Figura 6).

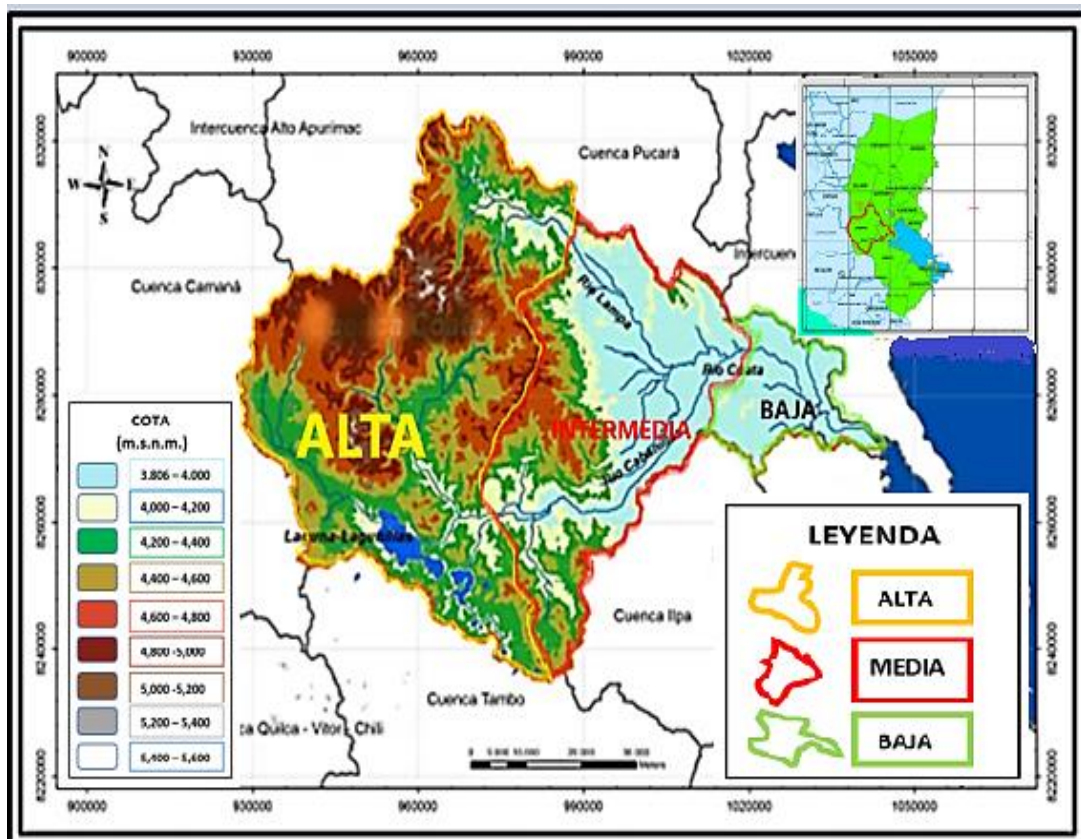


Figura 6. División de la Unidad Hidrográfica Coata

El río Coata es el río principal, con una longitud de 188.57 Km., en el confluyen los ríos de la red hidrográfica de la cuenca Coata. corresponde administrativamente a la Administración Local del Agua Juliaca (ALA-Juliaca), unidad orgánica de la Autoridad Administrativa del Agua XIV Titicaca (AAA-XIV Titicaca), órgano desconcentrado de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), adscrito al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI).

Tabla 16

División de la Unidad Hidrográfica Coata en función a: geomorfología, rango altitudinal y red de monitoreo de la calidad de agua superficial

Parte	Punto monitoreo	Distrito	Altitud M.s.n.m.	Categoría	Coordenadas UTM WGS 84		
					Zona	Este	Norte
Alta	LSeru	Palca	4970	4-E1	19L	319152	8301350
	LPalc		4860			313242	8309065
	R Para1	Paratía	4347	4-E2		327473	8291652
	R Icho	Pinaya	4320	4-E2		305014	8266956
	R Vila	Vilavila	4290	3		322497	8320160
	LLagu	Sta. Lucía	4195	4-E1		317434	8261157
	RVerd		4120	4-E2		320642	8268433
Media	RLamp1	Lampa	3861	3	354266	8298572	
	RLamp2		3837		370252	8292227	
	RCaba2	Cabanillas	3836	1-A2	371495	8291046	
	RCoat1		3830		390445	8281632	
	RToro2	Juliaca	3826	3	385188	8285427	
RCoat		3829	390445		8281632		
RCoat2		3824	397435		8278885		
Baja	RCoat3	Coata	3820	4-E1	402395	8275843	
	LCoat		3808		402998	8277239	
	LCoat1		3808		404847	8273042	
	LCoat2	Capachica	3808		407062	8269412	
	LCoat3		3808		411278	8262379	

b) Red de puntos de monitoreo de calidad de agua superficial:

Se establece considerando las características hidrográficas del recurso hídrico, las actividades antropogénicas, los usos del agua y la identificación de las fuentes contaminantes, naturaleza geológica de la zona, centros poblados y zonas urbanas, red vial, áreas naturales protegidas, pasivos mineros, vertimientos autorizados y accesibilidad a los puntos de muestreo (ANA, 2016).

Tabla 17
*Red de puntos de monitoreo de la calidad de agua superficial en la Unidad
Hidrográfica Coata*

N°	Código	Descripción	Coordenadas UTM WGS 84			Altitud m.s.n.m.
			Zona	Este	Norte	
1	LSeru	Laguna Serusa, en la salida (río Pomasi).		3191 52	83013 50	4970
2	LPalc	Laguna Palca, en salida hacia la quebrada Palca.		3132 42	83090 65	4860
3	RVila	Río Vilavila, después de vertimientos de aguas residuales de Vilavila.		3224 97	83201 60	4290
4	RVerd	Río Verde, aguas debajo de la Minera Tacaza.		3206 42	82684 33	4120
5	RIcho	Río Ichocollo, Puente Pinaya		3050 14	82669 56	4320
6	LLagu	Laguna Lagunillas, ubicada a la salida de la laguna.		3174 34	82611 57	4195
7	RPara1	Río Paratía, aguas abajo del vertimiento de la U. M. "El Cofre" de la Empresa CIEMSA.		3274 73	82916 52	4347
8	RLamp1	Río Lampa, 300 m. aguas abajo del vertimiento poblacional del distrito de Lampa.		3542 66	82985 72	3861
9	RLamp2	Río Lampa, antes de la confluencia con el río Cabanillas (alturas del puente Mojigachi).		3702 52	82922 27	3837
10	RCaba2	Río Cabanillas, 500 m. arriba de la unión con el río lampa para formar el río Coata.	19L	3714 95	82910 46	3836
11	RCoat1	Río Coata, 10 m. aguas abajo del puente Independencia.		3904 45	82816 32	3830
12	RCoat2	Río Coata, a la altura del puente Coata.		3974 35	82788 85	3824
13	RToro2	Aguas residuales de Juliaca, que fluye por el riachuelo Torococha al río Coata.		3851 88	82854 27	3826
14	RCoat	Río Coata, a la altura del puente Suches.		3904 45	82816 32	3829
15	RCoat3	Desembocadura del río Coata.		4023 95	82758 43	3820
16	LCoat	Lago Titicaca, zona margen izquierda de la desembocadura del río Coata.		4029 98	82772 39	3808
17	LCoat1	Lago Titicaca, aguas adentro, Capachica.		4048 47	82730 42	3808
18	L Coat2	Lago Titicaca, zona Coata-Capachica.		4070 62	82694 12	3808
19	L Coat3	Lago Titicaca, zona Coata-Capachica.		4112 78	82623 79	3808

Fuente: Informe Técnico N 055-2019-ANA-AAA.TIT-AT/RWAA.

c) Estándar de Calidad Ambiental para el Agua (ECA - Agua):

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA), es 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. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos (ANA, 2005).

Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) aplicados en el presente trabajo de investigación, son los aprobados por Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, el cual compila las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos (Anexo 4).

d) Clasificación de los cuerpos de aguas continentales superficiales:

La Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, en su artículo 73° concordado con el artículo 106° de su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG, establece que la Autoridad Nacional del Agua, clasifica los cuerpos de agua en función a sus características naturales y a los usos que se destinan, tomando como base la implementación progresiva de los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ECA-Agua) que apruebe el Ministerio del Ambiente (MINAM), de acuerdo con los usos actuales y potenciales al que se destina el agua.

La clasificación de cuerpos de agua superficiales, de la Unidad Hidrográfica Coata, se realizó en función a la Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA, que aprueba la clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales (Tablas 33 y 34).

e) Resultado de los monitoreos participativos en la Unidad Hidrográfica Coata:

Se procesó la data proveniente de los resultados de los monitoreos participativos de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata, realizadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), durante los años 2015 al 2016 (épocas de avenida y estiaje).

Tabla 18

Monitoreos participativos de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata (2015 – 2019)

Control de calidad de Agua	Fecha		Época	Reporte
	Inicio	Fin		
Séptimo monitoreo	22/09/2015	25/09/2015	Estiaje	Informe Técnico N° 172-2015-ANA-AAA.TIT-SDCRH
octavo monitoreo	05/04/2016	08/04/2016	Avenida	Informe Técnico N° 109-2016-ANA-AAA.TIT-SDCRH
noveno monitoreo	26/09/2016	30/09/2016	Estiaje	Informe Técnico N° 193-2016-ANA-AAA.TIT-SDCRH
décimo monitoreo	22/08/2017	29/08/2017	Avenida	Informe Técnico N° 137-2017-ANA-AAA.TIT-SDCRH
undécimo monitoreo	05/12/2017	11/12/2017	Estiaje	Informe Técnico N° 178-2017-ANA-AAA.TIT-SDCRH
duodécimo monitoreo	19/04/2018	25/04/2018	Avenida	Informe Técnico N° 030-2018-ANA-AAA.TIT-AT/RWAA
decimotercer monitoreo	20/09/2018	28/09/2018	Estiaje	Informe Técnico N° 051-2018-ANA-AAA.TIT-AT/RWAA
decimocuarto monitoreo	05/03/2019	08/03/2019	Avenida	Informe Técnico N° 035-2019-ANA-AAA.TIT-AT/RWAA
decimoquinto monitoreo	23/09/2019	30/09/2019	Estiaje	Informe Técnico N° 055-2019-ANA-AAA.TIT-AT/RWAA

Fuente: Elaboración propia, en base a la data de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

f) Procedimiento para el cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA – PE):

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 (Ros, 2010).

En la determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) de la Unidad Hidrográfica Coata, se consideró la información siguiente: identificación del área de estudio, su caracterización, red de monitoreo, valores establecidos en el ECA-Agua, clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales y resultado de los monitoreos participativos. Seguidamente se procedió a la determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE), empleándose para el efecto la metodología desarrollada por la Autoridad Nacional del Agua:

1. Determinación y descripción de los factores F₁, F₂, F₃ del ICA-PE. A partir de las fórmulas siguientes:

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.

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA – Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}} * 100$$

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).

$$F_2 = \frac{\text{Número de datos que no cumplen los ECA – Agua de los datos evaluados}}{\text{Número Total de datos evaluados}} * 100$$

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.

$$F_3 = \left(\frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$$

Suma Normalizada de Excedentes = SNE.

$$SNE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de Datos}} \right) * 100$$

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 para 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:

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

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA para 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:

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

2. Cálculo del Índice de Calidad de Agua ICA-PE. Obtenido el valor de los factores ($F_1, F_2, \text{ y } F_3$) se procedió a realizar el cálculo del Índice de Calidad de Agua, correspondiendo a este la diferencia de 100 y la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los tres (03) factores, $F_1, F_2 \text{ y } F_3$; valor que se presenta en un rango de 100, como un ICA de excelente calidad a cero (0), como valor que representa un ICA de pésima calidad. Su fórmula es:

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

En la evolución del cómputo del Índice de la Calidad de Agua, se hizo uso de una hoja de cálculo de Microsoft Excel, que permite automatizar las instrucciones que se ejecutan de manera secuencial, para el desarrollo de las operaciones y obtener los resultados propuestos.

Se insertaron los datos y las fórmulas matemáticas para la obtención de los valores de los Factores: F_1, F_2, F_3 y la cuantía del Índice de Calidad de Agua, ICA-PE.

3. Escalas de valoración. El resultado del ICA-PE, se muestra como un número adimensional entre cero (0) y 100, el cual permite instaurar escalas en cinco (5) rangos, este valor permite evaluar el estado de la calidad del agua cualitativamente, como: pésimo, malo, regular, bueno y excelente, según:

Tabla 19
Valoración del ICA-PE

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 -74	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	Pésimo	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Fuente: Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE. Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA.

g) Empleo de herramientas informáticas:

El procesamiento de la data se hizo a través de Microsoft Excel, la representación gráfica de los resultados del ICA-PE, en cada punto de monitoreo, se ubicaron en un mapa de forma representativa con el color que asigna el valor de la calificación del ICA, empleando el software ArcGIS y Google Earth Pro en coordenadas UTM, datum WGS 84 y zona 19L, georreferenciando la red de monitoreo, fuentes que influyen en la calidad del agua y los resultados del ICA-PE.

h) Evaluación de la variación del ICA-PE entre zonas.

Se aplica un Análisis de varianza de un solo factor, para los resultados obtenidos del ICA-PE, que serán comparados entre las 3 zonas de estudio (alta, media y baja), ello mediante una hoja de cálculo Microsoft Excel 2013.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Formaciones geológicas en la Unidad Hidrográfica Coata

La Unidad Hidrográfica Coata está ubicada entre las unidades morfoestructurales de la Cordillera Occidental y Altiplano (Laubacher, 1978). Lo que se corrobora con la evolución geomorfológica de la región ligada al levantamiento u orogenia andina, que determinó el afloramiento de rocas mesozoicas, cubiertas a su vez por una potente secuencia volcánica cenozoica, en donde la tectónica y la acción climática, esencialmente glacial y fluvio-glacial, han contribuido a configurar la expresión geomorfológica típica del área, cubierta por zonas de bofedales, terrazas fluviales y fondos fluviales (INGEMMET, 2011).

Una sinopsis de la geología de la zona, permite aseverar que las unidades geológicas involucradas en el área de la Unidad Hidrográfica Coata incluyen rocas sedimentarias volcánicas y volcano-sedimentarias, sus edades van desde la Formación Calapuja (Paleozoico Ordovícico-Superior) hasta la Formación Azángaro (Cenozoico Plioceno-Pleistoceno) y están cubiertas localmente por depósitos recientes poco consolidados del Cuaternario-Holoceno.

En el Anexo 6, correspondiente a los cuadrángulos de Ocuwiri (31-u), Juliaca (31-v), Lagunillas (32-u), Puno (32-v) y Acora (32-x), y el mapa geológico de la región Puno (Anexo 5), se observa la geología de la zona. Del análisis e interpretación de los mismos y su agrupación de acuerdo a su composición litológica, de cada formación geológica, mediante el uso del software ArcGIS, se ha determinado la geología (Figura 4) y columna estratigráfica de la Unidad Hidrográfica Coata.

En la siguiente tabla se presentan las unidades litoestratigráficas por Era, Sistema y Épocas geológicas de la Unidad Hidrográfica Coata.

Tabla 20
Columna estratigráfica de la Unidad Hidrográfica Coata

Era	Sistema	Época	Unidad	Símbolo	Unid. Litológica		
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito aluvial reciente	Qh-al	depósitos inconsolidados		
			Areniscas limolitas y gravas retrabajadas	Qh-al2			
			Depósito bofedral	Qh.bo			
			Depósito fluvio-glaciar	Qh-fg			
			Morrenas antiguas	Qpl-mo			
	Neógeno	Pleistoceno	Plioceno	Formación Azángaro	NQ-az	rocas sedimentarias	
				Formación Capillune*	N-ca		
		Mioceno	Oligoceno	Grupo Barroso	Np-ba	rocas volcano-sedimentarias	
				Grupo Sillapaca	Nm-si		
				Grupo Palca	Nm-pa/tbka		rocas volcánicas
Mesozoico	Paleógeno	Paleoceno	Grupo Tacaza: Formación Carayccasa	PN-tc	rocas volcano-sedimentarias		
			Grupo Puno	P-pu			
	Cretáceo	Superior	Formación Ayabacas	Kis-ay	rocas sedimentarias		
			Triásico	Grupo Mitu		PsT-mi	rocas volcano-sedimentarias
			Pérmico			Ps-is	rocas sedimentarias
	Paleozoico	Carbonífero	Inferior	Grupo Iscay	Ps-is	rocas sedimentarias	
		Devoniano	Inferior	Grupo Ambo	Ci-a		
Grupo Cabanillas				D-ca			
Silúrico		Superior	Formación Chagrapi	Sa-cha			
	Ordovícico	Superior	Formación Calapuja	O-ca (Calapuja)			

La Unidad Hidrográfica Coata, se ha subdividido en tres unidades espaciales (Figura 6), en función a la geomorfología, gradiente altitudinal e hidrológica que desempeñan, su funcionamiento no es el mismo en toda su extensión (Garrido, *et al.* 2010), lo que ha permitido determinar las unidades litoestratigráficas de la cuenca alta, media y baja.

En la siguiente tabla se muestra la correlación litoestratigráfica de la U.H. Coata, realizada en función a los resultados de la evaluación cartográfica (Anexo 6) y la determinación de las columnas litoestratigráficas de la cuenca alta, media y baja (Anexo 7). Se precisa que la sucesión estratigráfica en el área de la cuenca alta, que corresponde a la zona de cordillera, se inicia con rocas del Paleozoico, Devoniano Superior (Grupo Cabanillas) y finaliza con depósitos del Cuaternario reciente (depósitos aluviales). Los afloramientos en el área se tratan de rocas sedimentarias del Grupo Cabanillas y Ambo, estratos volcano-sedimentarios pertenecientes al Grupo Mitu, capas de caliza dolomítica con algunas lutitas y areniscas de la Formación Ayabacas, rocas sedimentarias del Grupo Puno (Paleógeno), estratos volcano-sedimentarios de rocas andesíticas del Grupo Tacaza de edad Oligo-Mioceno, rocas volcánicas del Grupo Palca (Mioceno Medio), rocas volcano-sedimentarias del Grupo Sillapaca (Mioceno Superior) y de la Formación Capillune (Plioceno Medio) y depósitos del Cuaternario.

La geología de la cuenca intermedia o media, nos muestran unidades que van desde el Paleozoico (Ordovícico) a depósitos recientes del Cuaternario. Se evidencia que la unidad más antigua lo constituyen los conglomerados y areniscas de la Formación Calapuja, seguido de rocas sedimentarias de la Formación Chagrapi, Grupo Cabanillas, Grupo Ambo y Grupo Iscay (Pérmico Inferior). Las rocas del Mesozoico están representadas por rocas volcano-sedimentarias del Grupo Mitu y rocas sedimentarias de la Formación Ayabacas (Cretáceo Superior Inferior). El Cenozoico muestra rocas volcano-sedimentarias (tobas y brechas basálticas y tobas andesíticas) del Grupo Barroso, rocas sedimentarias de la Formación Azángaro (Plioceno-Pleistoceno) y depósitos inconsolidados recientes del Cuaternario conformado por bofedales, areniscas re TRABAJADAS y depósito aluvial.

En la cuenca baja, se pueden señalar dos dominios claros de distribución geológica: Mesozoico y Cuaternario. Al Sur-Oeste de la ciudad de Juliaca se presentan pequeñas afloraciones de unidades del Mesozoico (Triásico), constituidas por rocas volcano-sedimentarias del Grupo Mitu, al Este (hacia Capachica) es notoria las rocas sedimentarias de la Formación Ayabacas y hacia el Nor-Este se manifiestan rocas sedimentarias del Grupo Puno. Las unidades del Cuaternario se distribuyen en forma masiva constituidas por depósito bofedal, areniscas y gravas re TRABAJADAS y depósitos aluviales recientes.

Tabla 21
Correlación litoestratigráfica de la Unidad Hidrográfica Coata

Era	Sistema	Época	Unidad litoestratigráfica	Edad (ma.)	Símbolo	Unidad estratigráfica	Correlación litoestratigráfica			
							Cuenca alta	Cuenca media	Cuenca baja	
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito aluvial reciente	0	Qh-al		✓	✓	✓	
			Areniscas limolitas y gravas retrabajadas		Qh-al2	depósitos inconsolidados	✓	✓	✓	
			Depósito bofedal		Qh.bo		✓	✓	✓	
			Depósito fluvio-glacial		Qh-fg		✓			
			Morrenas antiguas	4	Qpl-mo		✓			
	Neógeno	Pleistoceno	Formación Azángaro	5	NQ-az	rocas sedimentarias		✓		
			Formación Capillune*	6	N-ca	rocas volcano-sedimentarias	✓			
	Mioceno		Grupo Barroso	7	Np-ba			✓		
			Grupo Sillapaca	14	Nm-si		✓			
			Grupo Palca	22	Nm-pa/tbka	rocas volcánicas	✓			
		Paleógeno	Oligoceno	Grupo Tacaza: Formación Carayccasa	30	PN-tc	rocas volcano-sedimentarias	✓		
				Grupo Puno	65	P-pu		✓		✓
			Paleoceno	Superior			rocas sedimentarias			
				Inferior	Formación Ayabacas	100	Kis-ay		✓	✓
Mesozoico	Triásico	Grupo Mitu	250	PsT-mi	rocas volcano-sedimentarias	✓	✓	✓		
			300	Ps-is			✓			
	Pérmico	Superior								
Paleozoico	Carbonífero	Grupo Ambo	330	Ci-a	rocas sedimentarias	✓	✓			
			350	D-ca		✓	✓			
	Devoniano	Inferior	Formación Chagrapi	400	Sa-cha			✓		

Era	S i s t e m a	Época	Unidad litoestratigrá fica	Edad (ma.)	Símbolo	Unidad estratigrá fica	Correlación litoestratigráfica		
							Cuenca alta	Cuenca media	Cuenca baja
		Superior							
		Superior	Formación Calapuja	450	O-ca (Calapuja)			✓	

Metalogenia de la U. H. Coata

El área de la U.H. Coata, engloba a las provincias de Lampa, San Román y Puno, y su geología se configura por unidades del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico en la Cordillera Occidental y Altiplano (Figura 4).

Las rocas aflorantes en la Cordillera Occidental están constituidas principalmente por rocas volcánicas e intrusivos subvolcánicos, con edades entre el Oligoceno y Plioceno. Las rocas volcánicas varían desde andesitas basálticas a riolitas, presentan una afinidad geoquímica calcoalcalina con alto potasio (Acosta *et al.*, 2008).

Acosta *et al.* (2008), sostiene que en sur del Perú se han identificado seis sistemas regionales de fallas, encontrándose la Unidad Hidrográfica Coata dentro de los dominios geotectónicos delimitados por el Sistema de Fallas Caylloma-Condorama (SFCC) y el Sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo (SFCLM).

Los depósitos metálicos en la Cordillera Occidental del sur del Perú, se distribuyen espacialmente dentro de dominios geotectónicos, delimitados por sistemas de fallas regionales que han controlado el tipo de mineralización en épocas particulares, definiendo franjas metalogenéticas, que para la Unidad Hidrográfica Coata correspondería en mayor proporción la franja XXI-C, el que se expone en las Figuras 7 y 8.

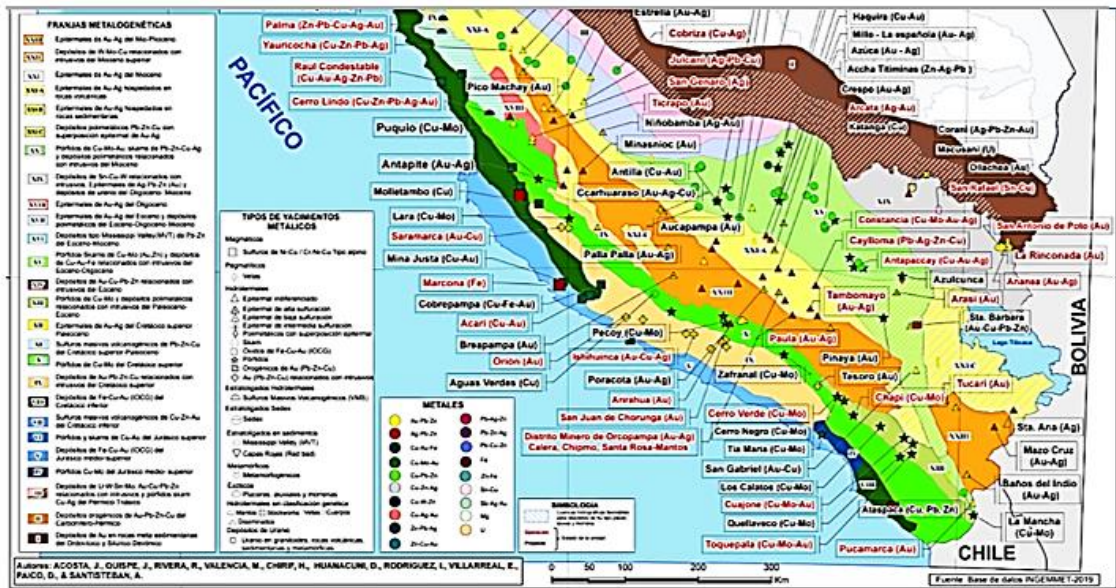


Figura 7. Mapa metalogénico del sur del Perú
Fuente: Base de Datos INGEMMET 2019.

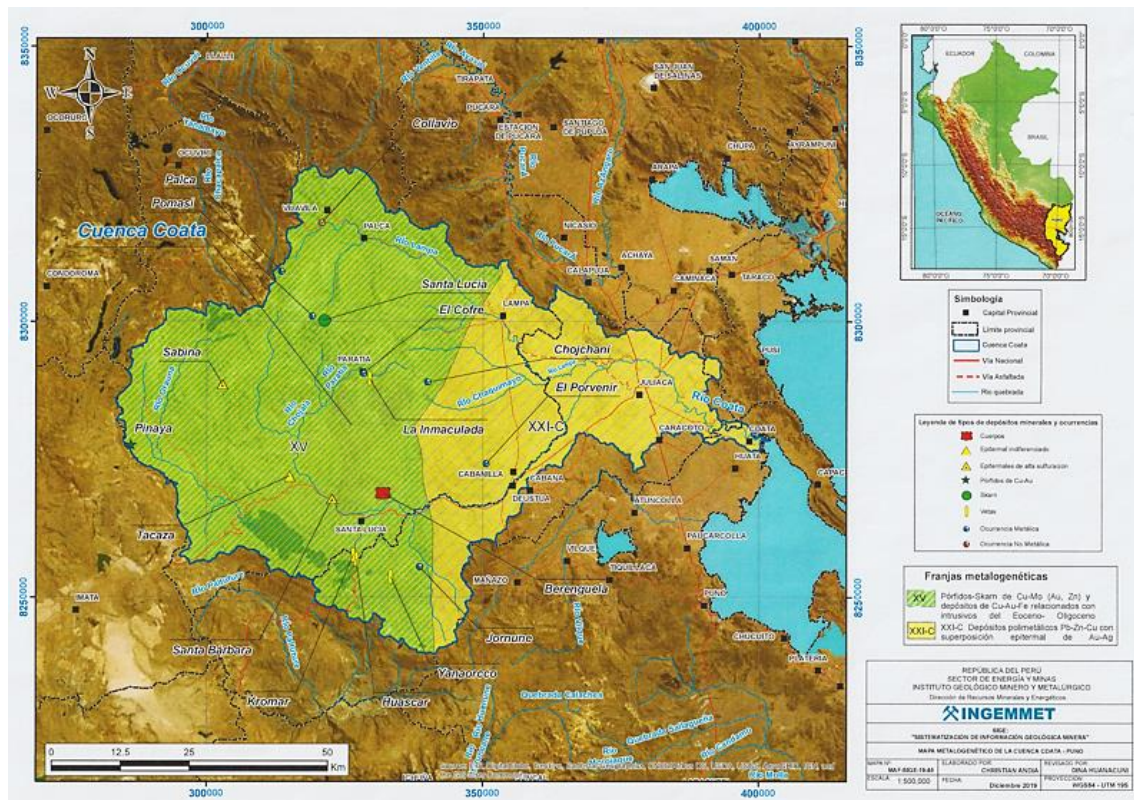


Figura 8. Mapa metalogénico de la Cuenca Coata.
Fuente: Base de Datos. Sistema de Información Geológica Minera-INGEMMET 2019.

La franja XXI-C denominada Depósitos Polimetálicos Pb-Zn-Cu con superposición epitermal de Au-Ag, se encuentra en la Cordillera Occidental y la mineralización está controlada por dos corredores formados por los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y Condorama-Caylloma-Incapuquio. Las rocas hospedantes corresponden a los

volcánicos del Grupo Tacaza, Grupo Palca, Grupo Sillapaca, y la Formación Capillune, así como a las calizas de la Formación Ayabacas.

En las tablas 22 y 23 se observa que la mineralización es de tipo Cu, Pb y Zn y los yacimientos más importantes son Tacaza (Cu), Santa Bárbara (diseminado de Mn-Cu-Ag), Berenguela (Ag, Cu, Mn), Palca (Pb, Zn, Cu, Ag), Quello Quello (Cu, Pb, Zn y Ag) Pomasi (Pb, Zn, Ag, Cu), Kromar (Cu, Pb, Zn y Ag), El Cofre (Ag, Au, Zn, Pb, Fe). La edad de mineralización está asociada a intrusivos de edades comprendidas entre 22 y 19 millones de años (Ma).

Tabla 22

Lista de ocurrencias metálicas y no metálicas en la Unidad Hidrográfica Coata

N°	Tipo	Nombre	Elemento
1	Metálico	Palca	Pb-Ag-Zn
2	Metálico	Pomasi	Zn-Ag-Pb-Au
3	No Metálico	Collavio	Arcilla
4	Metálico	Jormune	Fe
5	Metálico	Chojchani	Ag-Pb
6	Metálico	El Porvenir	W-Mo
7	Metálico	Tacaza	Cu-Pb-Zn
8	Metálico	El Cofre	Zn-Pb-Ag-Au

Tabla 23

Lista de minas y proyectos en la Unidad Hidrográfica Coata

N°	Unidad	Tipo	Dpto.	Prov.	Dtto.	Subtipo de yacimiento
1	Berenguela	Proyecto	Puno	Lampa	Santa Lucía	Cuerpos
2	Santa Bárbara	Mina	Puno	Lampa	Santa Lucía	Epitermales de alta sulfuración
3	Sabina	Proyecto	Puno	Lampa	Paratía	Epitermales de alta sulfuración
4	Pinaya	Proyecto	Puno	Lampa	Santa Lucía	Pórfidos de Cu-Au
5	Santa Lucía	Proyecto	Puno	Lampa	Palca	Skarn
6	Yana Orcco	Mina	Puno	San Román	Cabanillas	Vetas
7	Huáscar	Mina	Puno	San Román	Cabanillas	Vetas
8	Kromar	Mina	Puno	Lampa	Santa Lucía	Vetas
9	La Inmaculada	Proyecto	Puno	Lampa	Paratía	Vetas

En la zona de Cabanillas no se evidencia información de ocurrencias mineras metálicas; es decir, no se dispone de registro de depósitos metálicos comprendido en el área de la Unidad Hidrográfica Coata (ver Mapa MAF-SIGE-19-85 de la Figura 8).

En relación a la geología de la Unidad Hidrográfica Coata, Valdivia & Rodríguez (2003) mencionan que la secuencia estratigráfica en el área de Lagunillas comienza con rocas

del paleozoico, Silúrico-Devónico (Grupo Cabanillas) hasta depósitos del Cuaternario reciente, los cuales en su mayor parte se encuentran en los bordes de los ríos formando pequeñas terrazas fluvioaluviales y Cerpa *et al.* (2015) contextualiza que la geología del cuadrángulo de Ocuwiri nos muestra unidades que van desde el Paleozoico a depósitos recientes. La unidad más antigua está representada por las areniscas y lutitas del Grupo Ambo. El Mesozoico muestra las calizas resedimentadas de la Formación Arcurquina que afloran a manera de olistolitos o clastos del Grupo Puno. Las rocas del Cenozoico están conformadas por una sucesión sedimentaria, volcánica y volcano-sedimentaria, con una restricción de sedimentos fluviolacustres que van desde el Paleoceno hasta el Plioceno Inferior. Así mismo, Acosta *et al.* (2008) sostienen que el dominio Cusco-Lagunillas-Mañazo está formado por unidades volcánicas-sedimentarias del Oligoceno-Mioceno. Parte de este dominio presenta dos épocas de metalogenéticas de depósitos epitermales y polimetálicos, durante el Mioceno y Plioceno. Los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y Urcos-Sicuani-Ayaviri han controlado la sedimentación. Magmatismo y formación de yacimientos desde el oligoceno. Más aún, en INGEMMET (1993), se indica que en la Cordillera Occidental el Terciario fue marcado por tres fases de volcanismo calco-alcalino siendo Tacaza (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior), Sillapaca (Mioceno Medio) y Barroso (Mioceno Superior-Plioceno). Las dos últimas fases volcánicas iniciaron erupciones ignimbríticas de gran extensión en el área. En el Mioceno medio una cuenca lacustre de poca profundidad se formó en la Cordillera Occidental, en ella fue depositado el Grupo Maure (Formación Capillune). La intercalación de lavas, así como las relaciones estratigráficas indican que esta cuenca existió hasta el Plioceno.

Acosta *et al.* (2009) precisan que, más al sur (16° y 17°S), la mineralización se encuentra entre dos corredores formados por los sistemas de fallas Incapuquio, Condoroma-Caylloma y Cusco-Lagunillas-Mañazo. Las rocas hospedantes pertenecen a los Grupos Tacaza y Maure (Capillune) y Calizas de la Formación Ayabacas. La mineralización es de tipo Cu-Pb-Zn y los yacimientos más importantes son Tacaza, Santa Bárbara, Berenguela, Mina los Rosales, Quello Quello y San Antonio de Esquilache. La edad de mineralización está asociada a intrusivos de edades comprendidas entre 22 y 19 Ma.

Con relación a la geología de la Cuenca Media, en INRENA (2007), se indica que las características geológicas están relacionadas genéticamente con los principales eventos geológicos ocurridos en la región, destacando entre ellos movimientos tectónicos de tensión y compresión que han originado un intenso fallamiento y erosión siguiendo la

orientación de la cordillera de los Andes. En la cuenca de los ríos Cabanillas y Lampa afloran rocas de diferente composición, cuyas edades van desde el Precámbrico al Cuaternario reciente, estando compuestas mayormente por rocas sedimentarias y metamórficas cubiertas por depósitos de rocas volcánicas y depósitos in consolidados modernos, de forma similar en INGEMMET (2020), se indica que, en los cuadrángulos de Puno (32v) y Ácora (32x), el Paleozoico aflora en el Altiplano, está conformado por el Grupo Cabanillas y la Formación Chagrapí (Silúrico-Devónico), le siguen en discordancia los grupos Ambo, Tarma (Carbonífero) e Iscay (Pérmico medio). Luego de una fuerte discordancia angular, se encuentran las unidades mesozoicas, las cuales están formadas por la Formación Socosani, el Grupo Yura (Jurásico) y la Formación Ayabacas (Cretácico) en la Cordillera Occidental, y por las formaciones Chupa, Muni, Sipín (Jurásico), Huancané, Ayabacas y Vilquechico (Cretácico) en el Altiplano. El Cenozoico, en la Cordillera Occidental, está conformado por las formaciones Saracocha (Paleoceno) y Pichu (Eoceno), y los grupos Tacaza (Oligoceno), Maure (Mioceno), Palca (Mioceno), Sillapaca (Mioceno) y Barroso (Plioceno), mientras que en el Altiplano está conformado por los grupos Puno (Eoceno), Tacaza (Oligoceno), Maure (Mioceno) y Barroso (Plioceno). El relleno de la cuenca Titicaca lo conforman la Formación Azángaro y los depósitos recientes.

En lo que respecta a la geología de la cuenca baja, Sánchez & Zapata (2003) manifiestan que el Altiplano comprende una planicie amplia e irregular que incluye algunas cadenas de elevaciones de rumbo andino; separa a la Cordillera Occidental de la Cordillera Oriental. El Altiplano ha sido modelado mayormente en rocas paleógenas y neógenas, aunque también lo conforman rocas paleozoicas y mesozoicas cretáceas, análogamente en INGEMMET (2020) se describe que, en el Altiplano se encuentran diversos depósitos recientes que rellenan valles, depresiones y planicies. Entre estos, se tienen depósitos glaciares, fluvio-glaciares, aluviales, fluviales, coluviales y biogénicos.

De forma similar en ALT (2001) se da a entender que la geología de la cuenca del Titicaca ha sido determinada por numerosos eventos tectónicos que la han afectado durante un largo período. Durante el Cuaternario, la evolución del altiplano ha estado ligada fundamentalmente a la alternancia de períodos húmedos y secos, cálidos y glaciares, que han determinado la cuenca endorreica del altiplano y el desarrollo de lagos sucesivamente más amplios o más reducidos que los actuales. A estos diferentes procesos hidrológicos corresponden depósitos desde morrenas glaciares en las cordilleras, a sedimentos

fluviátiles entre el piedemonte y la planicie, y las formaciones lacustres y evaporíticas en la parte central de la llanura.

Los que confirman el resultado de la investigación geológica (Tabla 21), determinando que la geomorfología y geología de la Unidad Hidrográfica Coata difieren sustancialmente desde la cuenca alta de rocas volcano-sedimentarias (cuya secuencia litoestratigráfica está comprendida por las unidades: Grupo Cabanillas, Grupo Ambo, Grupo Mitu, Formación Ayabacas, Grupo Puno, Grupo Tacaza, Grupo Palca, Grupo Sillapaca, Formación Capillune, Morrenas antiguas, depósitos fluvio-glaciares y recientes), la cuenca media mayormente de rocas sedimentarias (unidades: Formación Calapuja, Formación Chagrapi, Grupo Cabanillas, Grupo Ambo, Grupo Iscay, Grupo Mitu, Formación Ayabacas, Grupo Barroso, Formación Azángaro, y depósitos recientes) y la cuenca baja con mayor predominancia de unidades del Cuaternario (Grupo Mitu, Formación Ayabacas, Grupo Puno, y depósitos recientes).

4.2 Fuentes de contaminación en la Unidad hidrográfica Coata

La contaminación hídrica generada a partir de la presencia de componentes químicos o de otra naturaleza en una densidad superior a la situación natural, es la causa principal de la alteración en la calidad del agua, que se traduce en la existencia de materia orgánica biodegradable, microorganismos patógenos (bacterias, virus, protozoarios, gusanos), nutrientes, compuestos xenobióticos, materia orgánica refractaria, metales pesados, hidrocarburos y derivados, productos químicos y desechos industriales, sólidos inorgánicos disueltos, sólidos sedimentables, energía radiactiva, energía térmica, cuya presencia hace que se tenga efectos dañinos sobre la salud y el medio ambiente.

Entre las fuentes de contaminación, entendiéndose esta como las principales presiones ambientales, en la Unidad Hidrográfica Coata se tienen a fuentes puntuales y no puntuales (difusas) generadas a partir de actividades poblacionales, productivas y naturales:

- Las aguas residuales domésticas, industriales y mineras sin tratamiento que son descargadas en cuerpos de agua.
- La inadecuada disposición de los residuos sólidos municipales.
- Los pasivos ambientales mineros.
- Actividad minera.

4.2.1 Aguas residuales domésticas, industriales y mineras

En la Tabla 24, se muestra el resumen de las fuentes contaminantes identificadas en la Unidad Hidrográfica Coata al año 2015, determinándose en este ámbito, vertimientos de aguas residuales industriales teniendo como cuerpo receptor al río Torococha, domésticas y municipales tratadas y sin tratamiento siendo responsables las municipalidades provinciales de Lampa y San Román y distritales de Palca, Vilavila y Paratía, así como vertimientos de aguas de mina provenientes de pasivos ambientales mineros de Palca y Pomasi, afectando el cauce de los ríos Chilapampa/Vilavila y Palca. Del total de vertimientos (13) identificados, tres (03) corresponden a vertimientos industriales de beneficio de animales (camales) y lavaderos de carros; ocho (8) a aguas residuales municipales y dos (2) vertimientos provenientes de bocamina y relaves.

Tabla 24

Resumen de las fuentes contaminantes identificadas en la Unidad Hidrográfica Coata - año 2015

N°	Tipo de vertimiento	Cuerpo receptor	Caudal (l/s)	Responsable	Coordenadas UTM	
					Este	Norte
Vertimiento de aguas residuales industriales						
1	Aguas residuales proveniente de camal	Río Torococha	0.5	Asociación de Carniceros de los Mercados Unidos de la Provincia de San Román Juliaca-Urb. Clara Victoria.	381421	8287431
2	Aguas residuales proveniente de camal	Río Torococha	0.7	Asociación de Carniceros de los Mercados Unidos de la Provincia de San Román Juliaca-Chila.	381858	8287191
3	Aguas residuales proveniente de lavado de carros	Río Torococha	0.1	Lavadero de carros clandestino situado en área pública sin Razón Social	381107	8287631
Total			1.3			
Vertimiento de aguas residuales domésticas y municipales						
1	MP de Lampa	Río Lampa	15.2	Municipalidad Provincial de Lampa	353729	8299205
2	MD de Palca	Río Palca	2.7	Municipalidad Distrital de Palca	328944	8314811
3	Centro Poblado de San Cirilo de Chullunquiani	Río Palca	0.7	Municipalidad Distrital de Palca	334070	8313595
4	Pueblo Vilavila	Río Vilavila	2.6	Municipalidad Distrital de Vilavila	322209	8320207
5	Municipalidad Provincial de Lampa	Río Paratía	3.2	Municipalidad Distrital de Paratía	327891	8291211
6	Municipalidad Provincial de Lampa	Río Cabanillas	4.77	Municipalidad Distrital de Cabanillas	356178	8271224
7	Municipalidad Provincial de Lampa	Río Cabanillas	5.8	Municipalidad Distrital de Cabanilla	356980	8272401

N°	Tipo de vertimiento	Cuerpo receptor	Caudal (l/s)	Responsable	Coordenadas UTM	
					Este	Norte
8	Municipalidad Provincial de Lampa	Río Torococha	255	E.P.S, SEDA Juliaca	382918	8286769
Total			289.9			
Vertimiento de aguas de mina provenientes de pasivos ambientales mineros						
1	Bocamina Minas Palca	PAM Río Chilapampa/Río Vilavila	10	Minas Palca	313305	8309044
2	Relaves PAM Minas Pomasi	Río Palca	15	Minas Pomasi	319152	8301350
Total			25			

Fuente: Informe Técnico N° 091-2015-ANA-AAA.TITICACA-ALA.JULIACA/AT

4.2.2 Residuos sólidos

Según la Tabla 25, al año 2015 se identificaron 20 botaderos municipales de residuos sólidos de diferentes magnitudes, disponiéndose los residuos sólidos (“basura”) en áreas de disposición final de manera improvisada, precaria y sin ningún tipo de control y sin la adopción de medidas que prevengan y mitiguen los impactos ambientales y sanitarios que generan, al no proceder con la cobertura y compactación, produciendo olores desagradables, gases y lixiviados. Estas áreas son consideradas informales, al no contar con el reconocimiento de infraestructura final de residuos sólidos. Del total de las fuentes identificadas, en la provincia de Lampa se tienen cuatro (04) botaderos, en la provincia de San Román-Juliaca trece (13) botaderos y en los distritos de Coata, Huata y Capachica tres (03) botaderos municipales.

El botadero de Chilla, ubicada en la ciudad de Juliaca, es el mayor centro de disposición de basura, constituyéndose en una fuente de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales y de contaminación atmosférica, producto del proceso de su descomposición generando metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), considerados como gases de efecto invernadero.

Tabla 25
Identificación de botaderos de residuos sólidos en la Unidad Hidrográfica Coata año 2015

Código	Zona	Responsable	Coordenadas UTM WGS84	
			Este	Norte
BMrs-1	A 30 m. del río Palca	Municipalidad Distrital de Palca	328625	8314893
BMrs-2	A 250 m. del río Vilavila	Municipalidad Distrital de Vilavila	321270	8320374
BMrs-3	Disposición a cielo abierto parte posterior de la ciudad	Municipalidad Provincial de Lampa	353598	8301858
BMrs-4	A 300 m. del río Cabanillas	Municipalidad Distrital Santa Lucía	329184	8264937
BMrs-5	Disposición a cielo abierto	Municipalidad Distrital de Cabanillas	356230	8275200
BMrs-6	A 30 m. del río Cabanillas	Municipalidad Distrital de Cabanillas	354449	8269696
BMrs-7	Disposición a cielo abierto	Municipalidad Distrital de Caracoto	380855	8278689
BMrs-8	A 500 m. del río Torococha	Municipalidad Provincial San Román	381770	8286136
BMrs-9	Disposición a cielo abierto	Municipalidad Distrital de Coata	397995	8278145
BMrs-10	Río Torococha puente San Isidro	Población de la ciudad de Juliaca	379847	8286584
BMrs-11	Puente río Torococha 1	Población de la ciudad de Juliaca	380037	8286828
BMrs-12	Puente río Torococha 2	Población de la ciudad de Juliaca	380229	8287085
BMrs-13	Río Coata puente Maravillas	Población de la ciudad de Juliaca	377746	8293070
BMrs-14	Río Coata puente Independencia	Población de la ciudad de Juliaca	381244	8290048
BMrs-15	Río Coata puente Independencia	Población de la ciudad de Juliaca	381355	8289956
BMrs-16	Puente Independencia	Población de la ciudad de Juliaca	381261	8289990
BMrs-17	Río Coata puente Unocolla	Población de la ciudad de Juliaca	372185	8291316
BMrs-18	Río Coata puente Ccacachi	Población de la ciudad de Juliaca	381831	8290735
Intercuencas aldeañas				
BMrs-19	Disposición a cielo abierto	Municipalidad Distrital de Huata	395937	8273538
BMrs-20	Disposición a cielo abierto	Municipalidad Distrital de Capachica	410584	8270642

Fuente: Informe Técnico N° 091-2015-ANA-AAA.TITICACA-ALA JULIACA/AT

4.2.3 Pasivos ambientales mineros

En la Tabla 26, relacionado con los pasivos ambientales mineros, se observa que al año 2015 se han identificado cuatro (04) pasivos mineros, todos ellos en la cuenca alta de la U.H. Coata; dos (02) provienen de la mina abandonada Palca de la Compañía Lampa Mining que afectan a la quebrada Palca y los dos restantes corresponden a los pasivos dejados por la Compañía Minera Minas de Pomasi y Compañía Minera Cullatira S.A.C., ubicados en el sector Pomasi, afectando al río Pumahuta.

Tabla 26

Pasivos ambientales mineros identificados en la Unidad Hidrográfica Coata 2015

N°	Fuente Contaminante	Cuerpo de agua receptor	Descripción	UTM WGS84		Altitud m.s.n.m.	Observaciones
				Este	Norte		
1	Reservorio de Mina Palca	Quebrada Mina Palca	Salida del reservorio de agua (abandonado) a la quebrada Mina Palca	313245	8309063	4866	Se detectan olores metálicos, el agua se dirige a la quebrada
2	Pasivo Minero	Río Mina Palca	Aguas que discurren por la quebrada al cuerpo de agua, pasando por el pasivo minero.	314192	8309063	4751	Las aguas discurren a la quebrada Palca y se perciben olores metálicos.
3	Pasivo Minero Cía. Cullatira S.A.	Río Pomasi	Acopio y transporte de relaves mineros.	322918	8305671	4306	Se realizan operaciones de cribado hasta finos, se
4	Pasivo Minero	Río Pomasi	Relavera, pasivo minero, cercana al cuerpo de agua	319638	8302234	4709	El pasivo está rodeado de bofedales que discurren hacia

Fuente: Informe Técnico N° 091-2015-ANA-AAA.TITICACA-ALA.JULIACA/AT

En las Tablas 27 al 30, se presentan los resultados de la actualización de identificación de fuentes contaminantes relacionados con los recursos hídricos en la Unidad Hidrográfica Coata, siguiendo lo establecido en los lineamientos para la identificación y seguimiento de fuentes contaminantes relacionadas con los recursos hídricos. (ANA, 2018).

De acuerdo a la Tabla 27, los resultados permiten determinar que por su origen las fuentes contaminantes antropogénicas prevalecen sobre las fuentes naturales, en donde 12 fuentes corresponden a vertimientos de aguas residuales, siete (07) a fuentes de botaderos de residuos sólidos y tres (03) a fuentes de descargas in situ, haciendo un total de 22 fuentes contaminantes.

Tabla 27

Identificación de fuentes contaminantes relacionados con los recursos hídricos de la Unidad Hidrográfica Coata según su origen año 2019

Por su origen	Por su naturaleza	N° de fuentes contaminantes	Total
Naturales	Aguas Naturales	0	0
	Depósitos Minerales	0	
Antropogénicos	Aguas Residuales	12	22
	Residuos Sólidos	07	
	Sustancias vertidas <i>in situ</i>	03	

Fuente: Informe Técnico N° 046-2019-ANA-AAA.TIT-AT/RWAA

De los tipos de aguas residuales considerados en la R. J. N° 136-2018-ANA, los tipos de agua residual que predominan en la U. H. Coata se presentan en la Tabla 28, donde seis (06) corresponden al tipo de agua residual doméstica, cuatro (04) a aguas residuales minero-metalúrgica y dos (02) a agua residual municipal.

Tabla 28

Tipos de agua residual identificadas en la Unidad Hidrográfica Coata: Año 2019

Región	Provincia	Distrito	Tipo de Agua Residual								
			Agroindustrial	Agropecuaria	Artesanal	Doméstica	Energética	Hospitalaria	Industrial	Minero-Metalúrgico	Municipal
Puno	San Román	Juliaca								1	1
Puno	San Román	Cabanillas				1					1
Puno	Lampa	Paratía				1			2		3
Puno	Lampa	Vilavila				1					1
Puno	Lampa	Santa Lucía				1					1
Puno	Lampa	Lampa								1	1
Puno	Lampa	Cabanilla				1					1
Puno	Lampa	Palca				1			2		3
Total						6			4	2	12

En la Tabla 29, se presentan las fuentes de residuos sólidos que tienen incidencia en la contaminación de los recursos hídricos de la Unidad Hidrográfica Coata, sobresaliendo los botaderos ubicados en las provincias de San Román y Lampa respectivamente.

Tabla 29

Identificación de botaderos de residuos sólidos en la Unidad Hidrográfica Coata año 2019

Zona	UTM WGS84		Altitud m.s.n.m.	Nombre RR HH	Provincia	Distrito	Localidad	Botadero
	Este	Norte						
19	381741	8289409	3825	Río Coata	San Román	Juliaca	Juliaca	Residuos sólidos
19	385310	8286583	3823	Río Coata	San Román	Juliaca	Juliaca	Residuos sólidos
19	380024	8286819	3824	Río Torococha	San Román	Juliaca	Juliaca	Residuos sólidos
19	380333	8287138	3824	Río Torococha	San Román	Juliaca	Juliaca	Residuos sólidos
19	376187	8286386	3825	Río Torococha	San Román	Juliaca	Juliaca	Residuos sólidos
19	369007	8293261	3841	Río Lampa	San Román	Juliaca	Juliaca	Residuos sólidos
19	355457	8270702	3881	Río Cabanillas	San Román	Cabanillas	Cabanillas	Residuos sólidos

En la Tabla 30, se muestra el resumen de las fuentes contaminantes identificadas según su ubicación geográfica, autorización de funcionamiento y codificación de la fuente contaminante, siete (07) fuentes cuentan con permiso de la autoridad competente y 15 fuentes no cuentan con autorización.

Tabla 30

Resumen de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata año 2019

Fuente contaminante	Ubicación		Autorización		Codificación Fuente Contaminante	Cantidad	
	Provincia	Distrito	Si	No			
Aguas residuales domésticas	Lampa	Paratía		X	0176-AR-DO 1	5	
		Vilavila	R.D.		0176-AR-DO 2		
		Palca		X	0176-AR-DO 3		
		Santa Lucía	RUPAP*		0176-AR-DO 4		
		Cabanilla		X	0176-AR-DO 5		
Aguas residuales Municipales	San Román	Cabanillas	RUPAP		0176-AR-MU 1	1	
	Lampa	Lampa	RUPAP		0176-AR-MU 2	1	
Aguas residuales Mineras	Lampa	San Román	Juliaca-Chilla	RUPAP		0176-AR-MU 3	4
			Paratía	R.D.		0176-AR-MM 3	
			Paratía	R.D.		0176-AR-MM 4	
		Palca		X	0176-AR-MM 2		
				X	0176-AR-MM 1		
				X	0176-RS-GM 7		
				X	0176-RS-GM 6		
Residuos sólidos	San Román	Juliaca		X	0176-RS-GM 5	7	
				X	0176-RS-GM 4		
				X	0176-RS-GM 3		
		Cabanillas		X	0176-RS-GM 2		
				X	0176-RS-GM 1		
Lavado de ropa	San Román	Juliaca		X	0176-IS-RL 3	1	
Lavado de carros	San Román	Juliaca		X	0176-IS-RL 2	2	
				X	0176-IS-RL 1		
TOTAL						22	

*RUPAP: Registro Único de Proceso de Adecuación Progresiva.

En la Figura 9, se presenta los resultados del procesamiento de datos en formato shapefile, elaborándose el Mapa de identificación de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata.

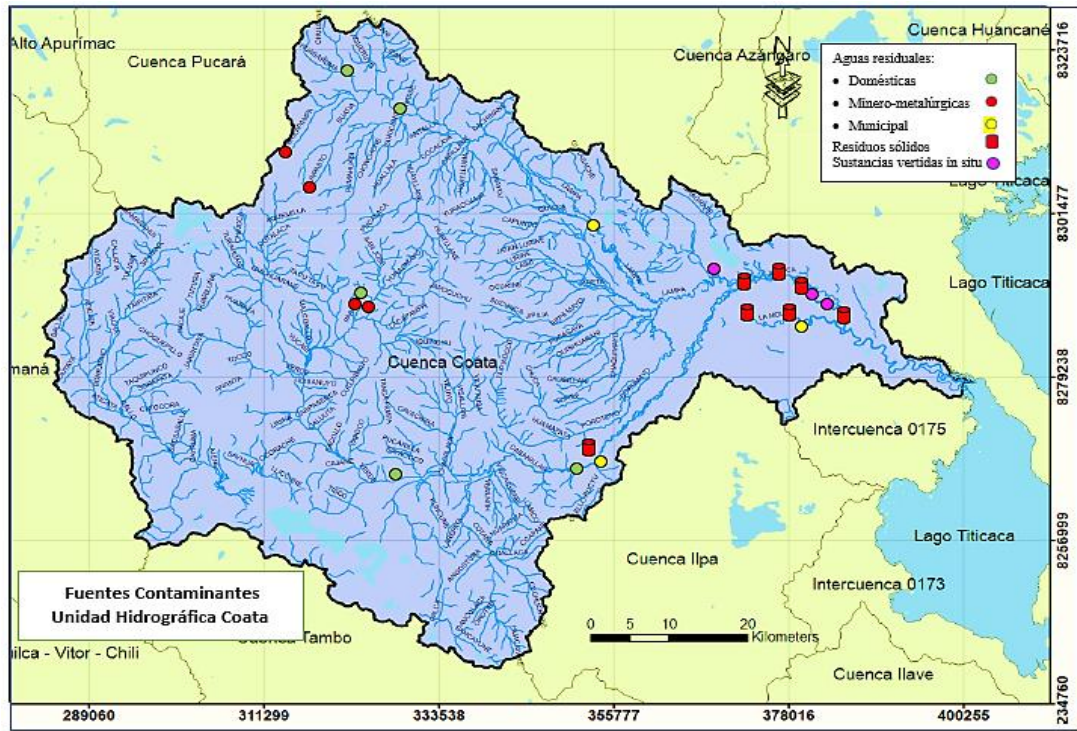


Figura 9. Mapa de identificación de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata.

En la Tabla 31, se muestra los vertimientos de aguas residuales en la Unidad Hidrográfica Coata, autorizadas por la autoridad competente, conforme al Registro de Vertimientos y Reúso de Aguas Residuales Tratadas (RVER) de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), los que están relacionadas a actividades mineras (metálicas y no metálicas) y aguas residuales municipales.

Tabla 31

Autorizaciones de vertimientos en la Unidad Hidrográfica Coata

Razón Social	Descripción	Coordenadas UTM WGS84		Caudal L/s Régimen	N° Resolución Directoral	Cuerpo Receptor
		Este	Norte			
CIEMSA	Unidad Minera El Cofre	328195	8291117	5.4 Continuo	R.D. N° 081-2016-ANA-DGCRH 18/04/2016	Río Paratía
	Proyecto de exploración Inmaculada 4	3290459	8290255	0.34	R.D. N° 096-2017-ANA-DGCRH 03/05/2017	Río Paratía
Municipalidad Distrital Vilavila	Proyecto Vilavila	41976	8320169	1.34 Continuo	R.D. N° 105-2018-ANA-DCERH	Río Vilavila
Cal & Cementos Sur S.A.	Reúso de aguas residuales tratadas	--	--	0.521	R.D. N° 049-2015-ANA-AAA.TIT. 03 años	--

Fuente: Registro Administrativo de Vertimientos y Reúso de Aguas Residuales Tratadas-RAVR. ANA 2019

De acuerdo a la Tabla 32 y Figura 9, las fuentes contaminantes relacionadas con los recursos hídricos, de la Unidad Hidrográfica Coata, que más predominan son de origen antropogénico, siendo notoria las aguas residuales municipales, aguas residuales industriales, botaderos de residuos sólidos y descarga in-situ, asimismo se muestra el comportamiento y evolución cuantitativa de fuentes contaminantes del año 2015 al 2019.

Tabla 32

Comportamiento cuantitativo de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata 2015-2019

Tipo de fuente contaminante	Años	
	2015	2019
Vertimiento de aguas residuales municipales	8	8
Vertimiento de aguas residuales industriales	5	4
Botaderos de residuos sólidos	22	7
Sustancias descargadas <i>in-situ</i>	1	3
TOTAL	36	22

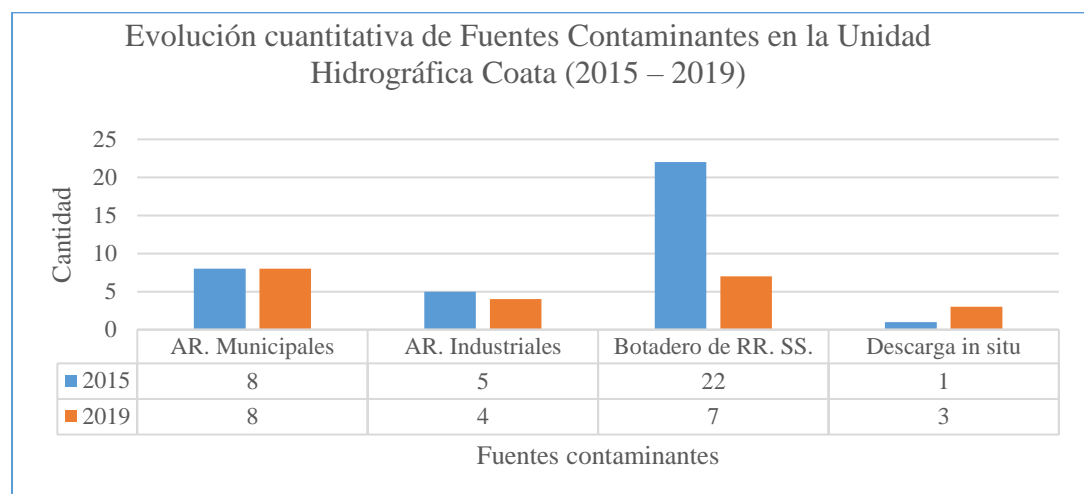


Figura 10. Evolución cuantitativa de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata 2015 – 2019.

En correspondencia con la identificación de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata, Ocola & Laqui (2017), sostienen que existen nueve ciudades, que cuentan con una población urbana total de 280, 523 habitantes (INEI, 2013). La ciudad de Juliaca es el centro urbano más habitado, siendo la urbe de la cuenca del Titicaca que genera la mayor cantidad de aguas residuales municipales y de residuos sólidos. Otra de las fuentes contaminantes directas que pasa inadvertida es el lavado de ropa y de vehículos en el río Coata, actividad que realizan de manera cotidiana los pobladores de la zona, tanto aguas arriba como aguas debajo de los puentes Independencia y Ccacachi, aportando detergentes, aceites y grasas, entre otros

compuestos químicos ajenos a la naturaleza química del agua, lo que confirma los resultados de identificación de fuentes contaminantes en nuestra investigación.

Según ANA (2011), en la Evaluación técnica de la Identificación de fuentes de contaminación y Monitoreo de la calidad del agua en las cuencas Coata, Illpa, llave y Laguna Pasto Grande se da a conocer las fuentes contaminantes identificadas en la cuenca del río Coata en julio 2011, sobresaliendo las fuentes de pasivos mineros (4), aguas residuales domésticas y poblacional (8) y aguas residuales del lavado de filtros de la planta de tratamiento de agua potable de Juliaca y lavado de carros (2). Así mismo, en ANA (2015), en los resultados de monitoreo participativo de la calidad de agua superficial en los cuerpos de agua de la Unidad Hidrográfica Coata-Puno, la Administración Local del Agua Juliaca (ALA-Juliaca) informa que en la cuenca del río Coata se identificaron 13 fuentes contaminantes, correspondiendo dos (2) a aguas residuales de camal, una (1) a lavado de carros, ocho (8) a aguas residuales municipales y dos (2) a vertimientos de pasivos mineros y de igual forma en ANA (2019), Informe Técnico N° 055-2019-ANA-AAA.TIT-AT/RWAA, se identificaron 22 vertimientos (ocho municipales, cuatro industriales, siete de residuos sólidos y tres descargas *in-situ*), que representan un decremento en la cantidad de vertimientos industriales y botaderos de residuos sólidos (Figura 10).

Los resultados logrados en la investigación, así como de la verificación y sistematización de la información de la ANA, permiten determinar que las fuentes de contaminación en la Unidad Hidrográfica Coata son de origen antropogénico, como se indica en ANA (2016), Estrategia Nacional para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos, la calidad de los recursos hídricos se ve afectado por dos factores principales: antropogénicos (actividades poblacionales y productivas que usan el recurso hídrico desde su fuente natural, las cuales generan vertido de aguas residuales no tratadas, residuos sólidos, pasivos ambientales mineros e hidrocarburíferos, minería ilegal e informal y deforestación) y naturales (producido por ella sin la intervención del hombre, como las características geológicas, hidrológicas, edafológicas, condiciones climáticas, cambio climático, naturaleza volcánica y fenómenos naturales).

Mosqueira (2014), señala que el agua que está ligera, mediana o fuertemente contaminada puede provenir tanto de fuentes derivadas de la actividad humana como

de procesos naturales. Conforme las actividades humanas han aumentado, también lo ha hecho la contaminación del agua.

4.3 Variación de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata por comparación en la red de monitoreo utilizando el índice ICA-PE

En las dos siguientes Tablas, se muestran la clasificación de los cuerpos de agua continentales de la Unidad Hidrográfica Coata, en relación a su calidad, siendo evaluados con Categorías ECA-3 y ECA-1 A2 para los ríos o cuerpos de agua lóticos y ECA-4 para las lagunas y lagos o cuerpos de agua lénticos.

Tabla 33

Clasificación de cuerpos de agua continentales lóticos - Unidad Hidrográfica Coata

N°	Curso de agua			Unidad hidrográfica		
	Código curso	Nombre	Categoría	Long. (Km)	Código UH	Nombre
1181	01761	Río Coata	Categoría 3	41.28	0176	Cuenca Coata
1182	01751	Río Coata	Categoría 1 A2	15.08	0176	Cuenca Coata
1183	01762	Río Lampa	Categoría 3	98.62	0176	Cuenca Coata
1184	01763	Río Cabanillas	Categoría 1A2	53.37	0176	Cuenca Coata
1186	01765	Río Cabanillas	Categoría 1A2	21.09	0176	Cuenca Coata
1188	01767	Río Verde	Categoría 4 E2	19.69	0176	Cuenca Coata
1189	01768	Río Verde	Categoría 4 E2	38.59	0176	Cuenca Coata
1190	01769	Río Paratía	Categoría 4 E2	31.22	0176	Cuenca Coata

Tabla 34

Clasificación de cuerpos de agua continentales lénticos - Unidad Hidrográfica Coata

N°	Curso de agua			Unidad hidrográfica	
	Nombre	Categoría	Área. (Km ²)	Código UH	Nombre
1259	Laguna Lagunillas	Categoría 4 E1	25.39	0176	Cuenca Coata
	Laguna Palca*	Categoría 4 E1		0176	Cuenca Coata
	Laguna Serusa*	Categoría 4 E1		0176	Cuenca Coata
	Lago Titicaca	Categoría 4 E1		01	Lago Titicaca
*	Todas las lagunas, salvo otra indicación de la ANA				

Cálculo del ICA-PE para cada punto de monitoreo, según la categoría del ECA Agua

En la tabla 35 y anexos 8 al 11, se dan a conocer los resultados del cálculo del Índice de Calidad de Agua ICA-PE, para las épocas de estiaje y avenida, de la Unidad Hidrográfica Coata en el período 2015 al 2019, según la categoría ECA-Agua determinada (tablas 33 y 34).

Partiendo de los resultados de los monitoreos participativos de la calidad del agua superficial de los años 2015 al 2019, en cada uno de los puntos de la red de monitoreo

(19), se determinaron los ICA-PE en función al número de parámetros que no cumplen los ECA-Agua, número total de parámetros a evaluar, número de los parámetros que no cumplen el ECA-Agua de los datos evaluados y número total de datos evaluados, con los que se calcularon los tres factores; F1= Alcance, F2= Frecuencia y el factor F3= Amplitud se calculó a partir de la determinación de la suma normalizada de los excedentes (nse), dividiendo la sumatoria de los excedentes entre el total de los datos. Los valores del ICA-PE calculados se calificaron de acuerdo a la escala de rangos o niveles de sensibilidad como excelente, bueno, regular, malo y pésimo (Tabla 19), asignándoles un color de la escala cromática RGB.

Tabla 35

Cálculo del ICA-PE en función al alcance (F1), frecuencia (F2) y amplitud (F3)

Punto de monitoreo	Categoría ECA-Agua	F1	F2	F3	Resultado ICA-PE	
LPalc	4 -E1	40	24.78632479	80.45865213	46	REGULAR
LSeru	4 -E1	40	30.32786885	69.17313628	51	REGULAR
LLagu	4 -E1	33.33333333	17.9245283	16.20560156	50	REGULAR
RPara1	4 - E2	26.66666667	22.77227723	86.94718199	46	REGULAR
Rlcho	4 - E2	20	7.920792079	2.482126011	87	BUENO
RVerd	4 - E2	40	33.66336634	69.06228458	50	REGULAR
RVila	3	17.64705882	10.48951049	0.667199201	88	BUENO
RLamp1	3	23.52941176	6.993006993	23.47577731	80	BUENO
RLamp2	3	29.41176471	7.692307692	30.39370297	75	BUENO
RCaba2	1 - A2	23.07692308	11.50442478	11.12794049	84	BUENO
RCoat1	1 - A2	23.07692308	11.50442478	10.15425363	84	BUENO
RToro2	3	52.94117647	27.272727	94.63290407	35	MALO
RCoat	3	29.41176471	6.993006993	5.693209505	82	BUENO
RCoat2	3	29.41176471	9.79020979	9.159489168	81	BUENO
RCoat3	3	29.41176471	6.293706294	12.6634221	81	BUENO
LCoat	4 -E1	33.33333333	19.13043478	26.89048835	73	REGULAR
LCoat1	4 -E1	40	14.87603306	78.09539479	49	REGULAR
LCoat2	4 -E1	40	12.93103448	59.7902.8372	58	REGULAR
LCoat3	4 -E1	26.66666667	10.47619048	11.2870236	82	BUENO

Para la determinación de la variación de la calidad del agua superficial, en la Unidad Hidrográfica Coata, se realizó el análisis y comparación multitemporal cualitativo, considerando la geología y metalogenia, y las fuentes contaminantes con los parámetros que incumplen o exceden los ECA-Agua, por categorías, en la red de monitoreo de la cuenca alta, media y baja.

En la Tabla 36, se presenta el resultado del ICA-PE; en el Anexo 12, se tienen los valores que incumplen el ECA-Agua y en la Figura 11, la variación espacio temporal del ICA-PE en la Unidad Hidrográfica Coata para el período 2015 – 2019.

Tabla 36

Resultados ICA-PE Unidad Hidrográfica Coata: monitoreos 2015-2019; zona alta, media y baja

Zona	N°	Punto de monitoreo	Categoría ECA-Agua	Cuerpo de agua		Resultado ICA-PE
Cuenca alta	1	LPalc	4 -E1	Laguna Palca, salida hacia la quebrada Palca	46	REGULAR
	2	LSeru	4 -E1	Laguna Serusa, salida río Pomasi	51	REGULAR
	3	LLagu	4 -E1	Laguna Lagunillas, a la salida de la laguna	50	REGULAR
	4	RPara1	4 - E2	Río Paratía, vertimiento U.M. El Cofre	46	REGULAR
	5	RIcho	4 - E2	Río Ichocollo, Puente Pinaya	87	BUENO
	6	RVerd	4 - E2	Río Verde, aguas debajo Minera Tacaza	50	REGULAR
	7	RVila	3	Río Vilavila, después de vertimiento aguas residuales	88	BUENO
Cuenca media	8	RLamp1	3	Río Lampa, después de vertimiento poblacional	80	BUENO
	9	RLamp2	3	Río Lampa, antes confluencia río Cabanillas	75	BUENO
	10	RCaba2	1 - A2	Río Cabanillas, unión con el río Lampa	84	BUENO
Cuenca baja	11	RCoat1	1 - A2	Río Coata, aguas abajo puente Independencia	84	BUENO
	12	RToro2	3	Aguas residuales de Juliaca, riachuelo Torococha	35	MALO
	13	RCoat	3	Río Coata, altura puente Suches	82	BUENO
	14	RCoat2	3	Río Coata, altura puente Coata	81	BUENO
	15	RCoat3	3	Desembocadura del río Coata	81	BUENO
	16	LCoat	4 -E1	Lago Titicaca, desembocadura río Coata	73	REGULAR
	17	LCoat1	4 -E1	Lago Titicaca, aguas adentro Capachica	49	REGULAR
	18	LCoat2	4 -E1	Lago Titicaca, Zona Coata-Capachica	58	REGULAR
	19	LCoat3	4 -E1	Lago Titicaca, Zona Coata-Capachica	82	BUENO
EXCELENTE					90 - 100	
BUENO					75 - 89	
REGULAR					45 - 74	
MALO					30 - 44	
PESIMO					0 -29	

- Cat. 4: Conservación del Ambiente Acuático E2: Ríos (Costa y Sierra)
- Cat. 4: Conservación del Ambiente Acuático E1: Lagos y lagunas
- Cat. 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales.
- Cat. 1: Poblacional y Recreacional A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con Tratamiento convencional.

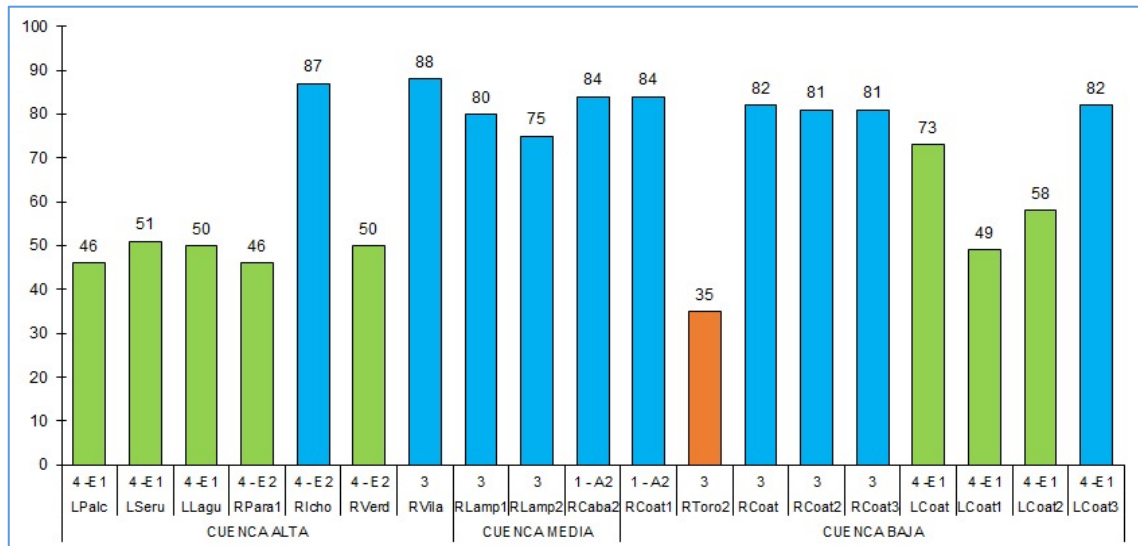


Figura 11. Variación espacio-temporal del ICA-PE. U.H. Coata 2015-2019.

En la Figura 12 y Tabla 37 (análisis comparativo multitemporal del comportamiento del ICA-PE en relación al incumplimiento del ECA-Agua), se observa que en la cuenca alta de la U.H. Coata conformada por siete (7) puntos de monitoreo, tres (3) de lagunas y cuatro (4) de ríos, el ICA-PE de los puntos LPalc, LSeru, LLagu (Categoría 4-E1) y RPara1, RVerd (Categoría 4-E2) se encuentran en el intervalo de 45 a 74 del valor ICA-PE, correspondiéndole la calificación de REGULAR y, de RIcho (Categoría 4-E2)) su calidad es BUENO (87); respecto a RVila, de la Categoría 3, está en el intervalo de 75 a 89 calificado como BUENO. La presencia recurrente, moderadamente recurrente o poco frecuente de parámetros que exceden el ECA-Agua se deben a la incidencia de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos determinados en cada punto de monitoreo (Tabla 17). Así como a la geología de la cuenca alta (Tabla 21), constituida por rocas volcánicas y volcano-sedimentarias, donde la franja XXI-C de Depósitos Polimetálicos Pb-Zn-Cu con superposición epitermal de Au-Ag es la que ha controlado la mineralización a través de las fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y Condorama-Caylloma-Incapuquio, encontrándose en esta zona las principales ocurrencias de depósitos y yacimientos mineros (Tabla 22). Así mismo las aguas residuales minero-metalúrgicas y domésticas municipales inciden en la calidad del agua superficial de la cuenca alta de la Unidad Hidrográfica Coata (Tabla 32).

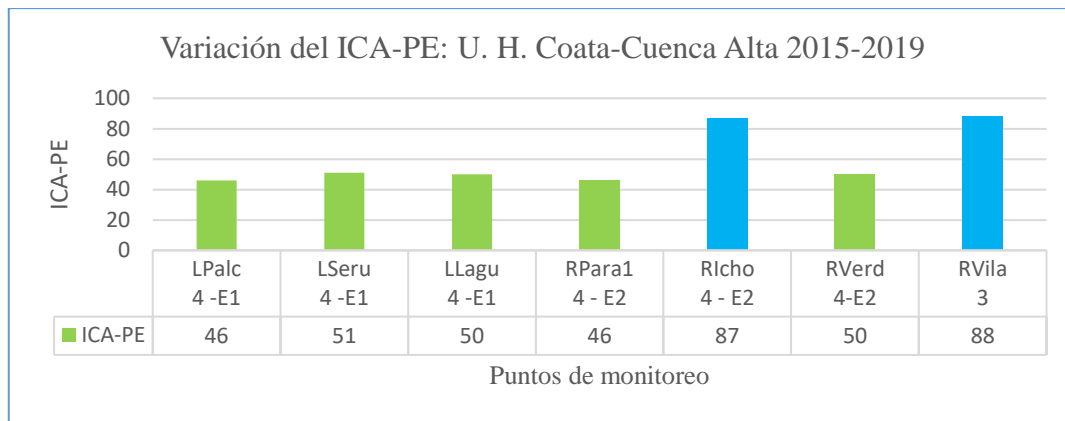


Figura 12. Variación del ICA-PE: U.H. Coata 2015-2019-Cuenca Alta.

Tabla 37

Análisis comparativo multitemporal del comportamiento del ICA-PE en relación al incumplimiento del ECA-Agua. U.H. Coata- Cuenca Alta

Zona	N ^c	Punto monit.	CAT. ECA-Agua	Parámetros exceden ECA-Agua (%)			Resultado ICA-PE 2015-2019
				Recurrentes	Moderada. recurrentes	Poco frecuentes	
Cuenca alta	1	LPalc	4 -E1	Zn: 100 Pb: 53 OD: 53		pH: 13 Cu: 13 Cd: 7 DBO: 7 N Total: 7 P Total: 7	46 REGULAR
	2	LSeru	4 -E1	Zn: 100 Pb: 87		OD: 47 N Total: 27 Hg: 20 pH: 12 Cu: 12 Fenoles: 7	51 REGULAR
	3	LLagu	4 -E1	OD: 50 N Total: 50	pH: 42 P Total: 42	As: 17 DBO: 8 Pb: 8	50 REGULAR
	4	RPara1	4 - E2		OD: 44 Zn: 44 Cd: 33 Mn: 33	E. Coli: 11 pH: 11	46 REGULAR
	5	RIcho	4 - E2	AS: 67 B: 58	OD:42 CE: 42 Cloruros: 42 Na: 33	pH: 17 E. Coli: 8	87 BUENO
	6	RVerd	4 - E2	As: 75 B: 58		OD: 42 Cloruros: 42 CE: 33 Cd: 25 Na: 25 Ta: 17 Li: 8	50 REGULAR
	7	RVila	3	pH: 93		E. Coli: 8 OD: 27 E. Coli: 27 N Total: 27 Colif. Feca.: Colif. Term.: 7	88 BUENO

En la Figura 13 y Tabla 38, se muestran el comportamiento de la variación del ICA-PE y el análisis multitemporal de la incidencia de los parámetros que no cumplen con el ECA-Agua en la cuenca media (Figura 6) de la Unidad Hidrográfica Coata, conformada por tres (3) puntos de monitoreo en ríos. Los resultados, del ICA-PE, están en el rango de 75 a 89 del valor ICA-PE, correspondiéndole a RLamp1, RLamp2 de la Categoría 3 (ECA-Agua) y RCaba2 de la Categoría 1-A2, la calificación de BUENO. Influyen en estos resultados, de la calidad del agua, la presencia recurrente de un pH básico, moderadamente recurrentes de coliformes termotolerantes y *Escherichia Coli* (en RLamp1) y poco frecuente de Oxígeno disuelto, DBO₅, coliformes fecales y metales como Zn, Fe y Li. El valor del ICA-PE para el punto RLamp2, en su calidad tiende a REGULAR por estar ubicado aguas debajo de la descarga de aguas residuales de la localidad de Cabanillas. La geología de la cuenca Media, constituida por rocas sedimentarias (Plioceno Holoceno) y depósitos recientes (Tabla 21) no constituye un medio de ocurrencia de depósitos minerales (INGEMMET, 2019), siendo incipiente su participación en la calidad de agua, sin embargo, se evidencia que los residuos sólidos proveniente del botadero de Cabanillas (Tabla 30, Figura 9) y aguas residuales domésticas provenientes de los distritos de Cabanilla, Cabanillas y Lampa, inciden en la variación de la calidad de agua de la cuenca media.

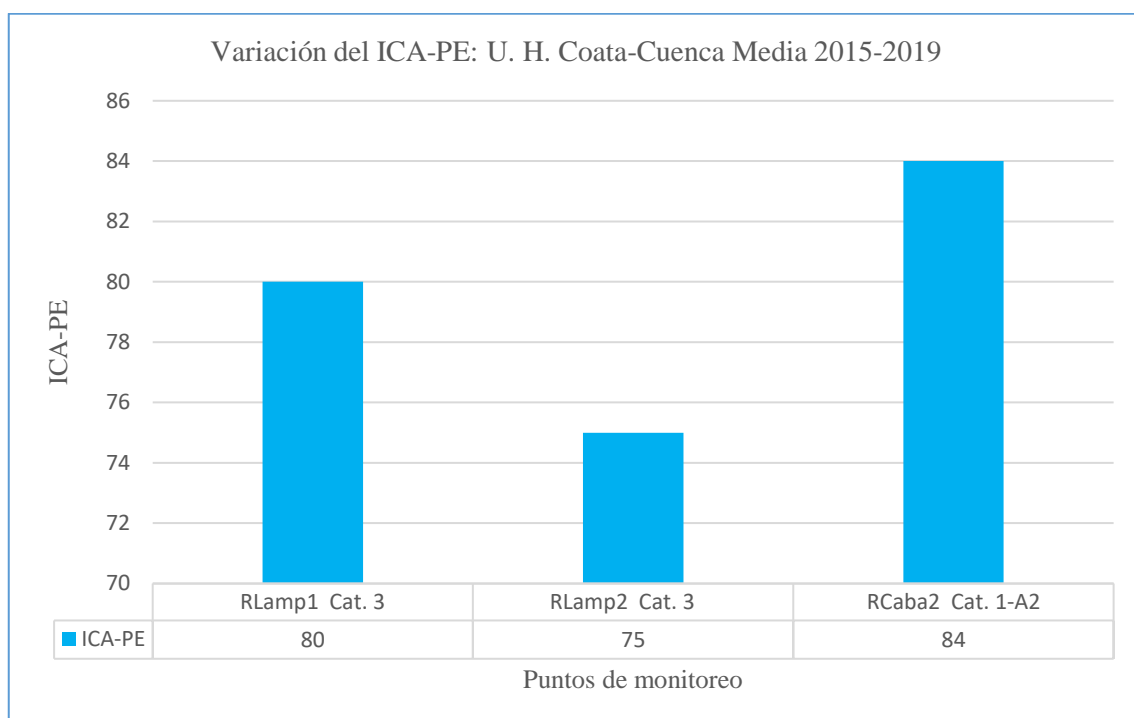


Figura 13. Variación del ICA-PE: U.H. Coata 2015-2019-Cuenca Media.

Tabla 38

Análisis comparativo multitemporal del comportamiento del ICA-PE en relación al incumplimiento del ECA-Agua. U.H. Coata- Cuenca Media

Zona	N°	Punto monit.	CAT. ECA-Agua	Parámetros exceden ECA-Agua (%)			Resultado ICA-PE 2015-2019
				Recurrentes	Moderada recurrentes	Poco frecuentes	
Cuenca media	8	RLamp1	3	Mn: 53	Colif. Term.: 40 E. Coli: 33	OD: 20 pH: 13 DBO: 7 Fenoles: 7 Nitratos: 7 Nitritos: 7 Zn: 7 Coli, feca.: 7	80 BUENO
	9	RLamp2	3	pH (b): 67		Cloruros: 20 Fe: 20 Mn: 13 E. Coli: 13 B: 7 N Total: 7	75 BUENO
	10	RCaba2	1 - A2	pH (b): 47 Cloruros: 40		As: 27 OD: 20 B: 20 CE: 7 N Total: 7 Carbonatos: 7 Li: 7 E. Coli: 7	84 BUENO

En la Figura 14 y Tabla 39, se determinan la variación del ICA-PE para la cuenca baja de la Unidad Hidrográfica Coata en el período 2015-2019, así como el análisis multitemporal de incidencia de los parámetros que incumplen el ECA-Agua en la calidad del agua. El comportamiento del ICA-PE está en el rango de 30 a 89 (malo, regular y bueno), en el que, para RCoat1 (Cat. 1-A2) se califica como BUENO; el punto RToro2 es el más afectado por materia orgánica y parámetros físico-químicos que exceden el ECA-Agua de la Cat. 3: riego de vegetales y bebida de animales, obteniendo una calificación de MALO (escala 30-44). Los puntos RCoat, RCoat2 y RCoat3 (Cat. 3), no presentan

variación en su calidad, siendo su calificación de BUENO; similar comportamiento se observa en LCoat3 (Cat. 4-E1). Para LCoat, LCoat1 y LCoat2, su rango va de 45 a 74 REGULAR. Los factores que inciden en la alteración del ICA-PE, de la cuenca baja, en mayor proporción corresponden a la evacuación de aguas residuales doméstico-municipales de la localidad de Juliaca (mayor a 200 L/s), como se muestra en la Tabla 28 y botaderos de residuos sólidos (Tabla 29), ubicados en la provincia de San Román. La geología de la cuenca baja, en donde la distribución del Cuaternario ocupa la mayor parte de la cuenca con depósitos recientes que rellenan valles, depresiones y planicies y presencia importante de la Formación Ayabacas, influyen en la calidad de agua subterránea.

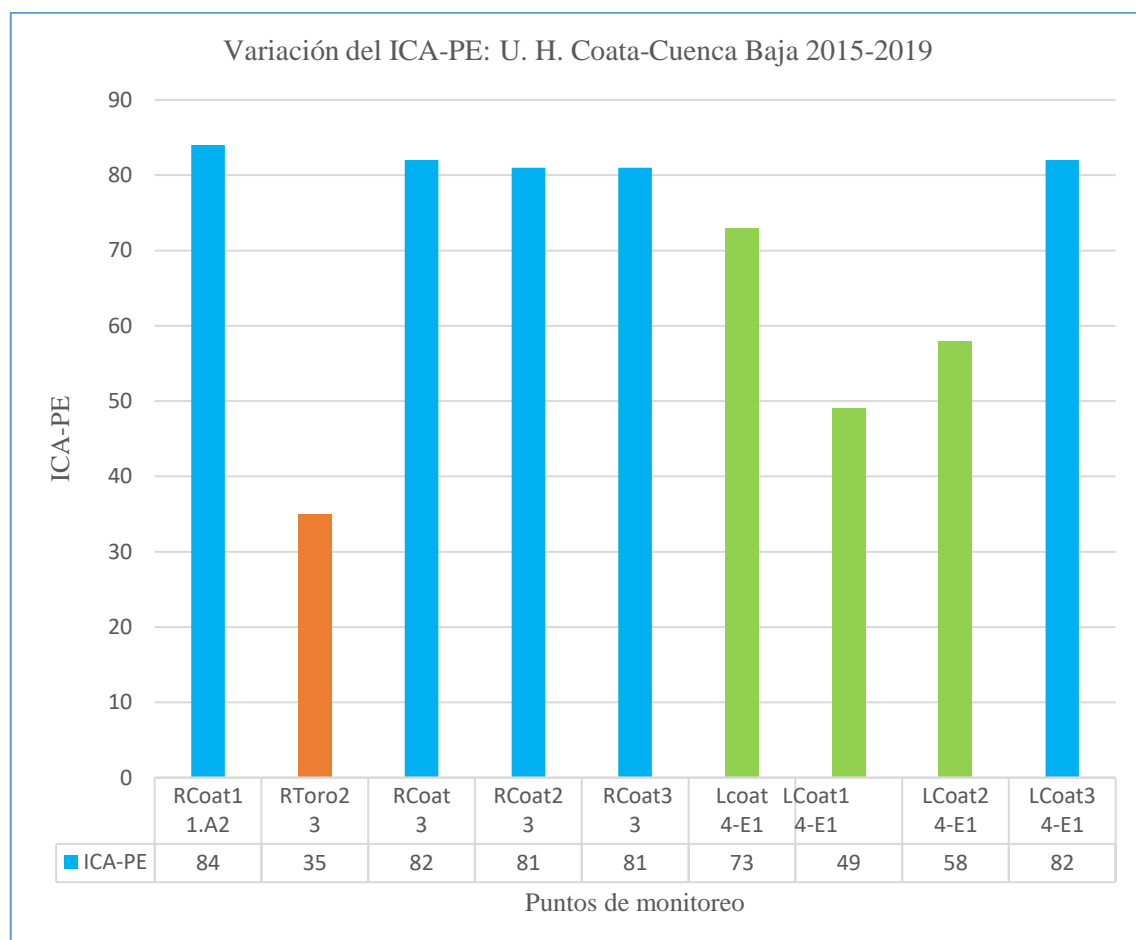


Figura 14. Variación del ICA-PE: U.H. Coata 2015-2019-Cuenca Baja

Tabla 39

Análisis comparativo multitemporal del comportamiento del ICA-PE en relación al incumplimiento del ECA-Agua. U.H. Coata- Cuenca Baja

Zona	N°	Punto monit.	CAT. ECA-Agua	Parámetros exceden ECA-Agua (%)			Resultado ICA-PE 2015-2019		
				Recurrentes	Moderada. recurrentes	Poco frecuentes			
Cuenca baja	11	RCoat1	1 - A2		pH: 40 Cloruros: 40	B: 27 As: 27 E. Coli: 13 OD: 13 N Total: 7 Carbonatos: 7 Na: 7 Coli, feca.: 7	84	BUENO	
	12	RToro2	3	DBO: 93 DQO: 93 Mn: 93 Coli. Term.: 73 E. Coli: 60	A&G: 47 CE: 33 Cloruros: 33 Bicarbonato: 33 Fosfatos: 33 B: 33 Na: 33 OD: 13 Hg: 13 Coli feca.: 13	N Amoniacal:7 N Total: 7 Nitritos: 7 Alcalinidad: 7 Pb: 7 Fe: 7	35	MALO	
	13	RCoat	3		pH: 27 OD: 27 Nitritos:13	N Total:7 Nitratos: 7 Fosfatos: 7 Mn: 7 E. Coli: 7 Faciola Hepática: 7 Nitratos: 7 Fosfatos: 7	82	BUENO	
	14	RCoat2	3	Mn: 53	pH: 40 Cloruros: 27 B: 27 OD:27 Nitritos:13 Mn: 33 pH: 33			81	BUENO
	15	RCoat3	3			OD: 22 B: 22 Zn: 11 Cloruros: 11 Nitratos: 11 Zn: 17	81	BUENO	
	16	LCoat	4 -E1	Fosforo Total: 100	CE: 100 pH (B): 67 OD:67			73	REGULAR
	17	LCoat1	4 -E1		P Total: 100 N Total: 83 CE: 50 pH (b): 50 CE: 67		P Total: 33	74	REGULAR
	18	LCoat2	4 -E1		OD: 50 pH (b): 50 N Total: 50 pH (b): 60			49	REGULAR
	19	LCoat3	4 -E1		CE: 67 OD: 50 N Total: 50			82	BUENO

Los resultados de la evaluación de la calidad del agua ICA-PE, en la Unidad Hidrográfica Coata, durante el período 2015-2019, se muestran en la Figura 15.

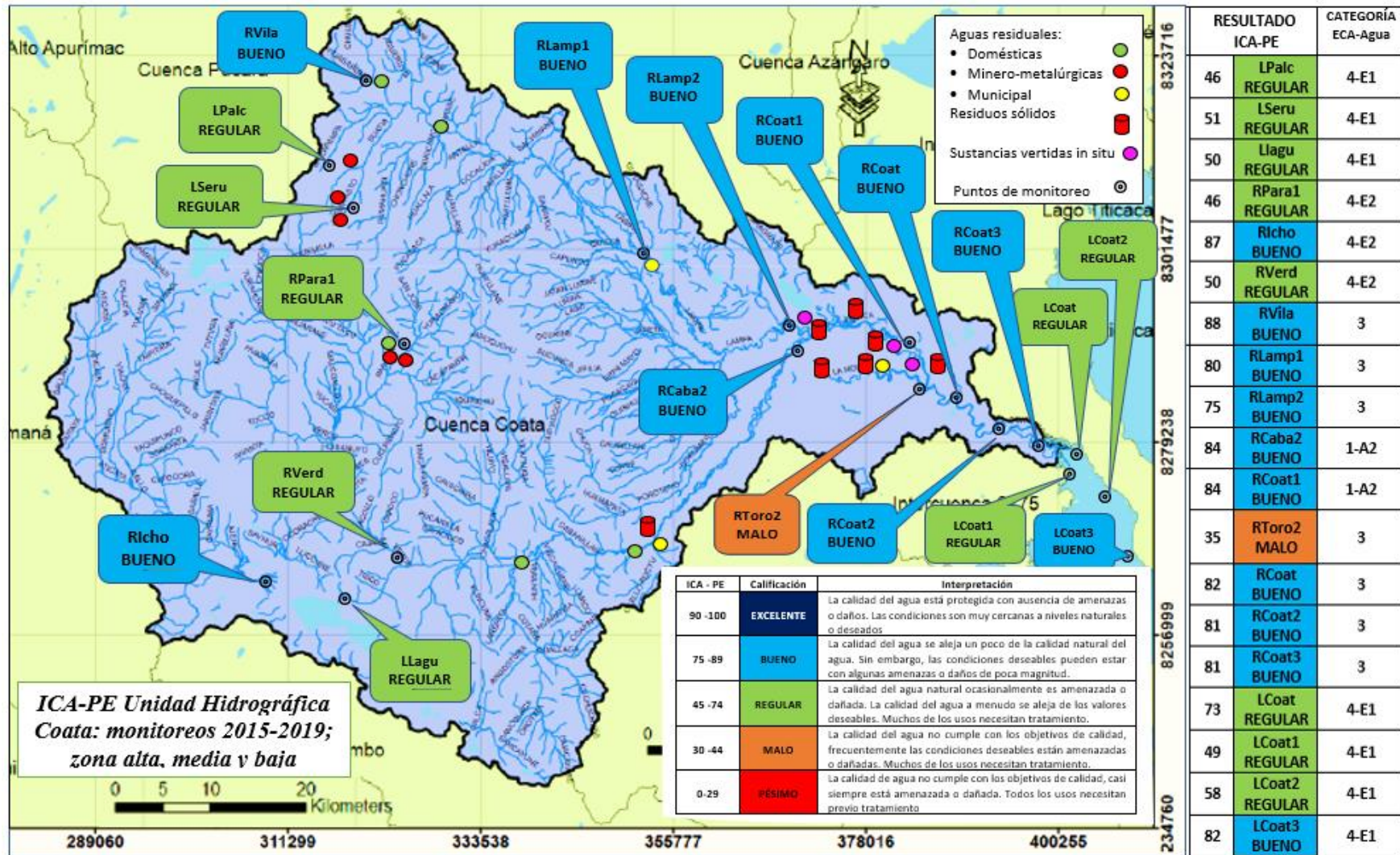


Figura 15. Índice calidad de agua superficial ICA-PE. Unidad Hidrográfica Coata 2015-2019.

En la cuenca alta, zona identificada como de naciente y origen de los cuerpos de agua, en donde el proceso dominante es de erosión, la tendencia de la calidad de agua superficial, es de buena calidad en un 29% y regular en un 71%, calidad que es alterada como consecuencia de los lixiviados provenientes de pasivos ambientales mineros, unidades mineras y en los demás puntos de la red inciden la descarga de aguas residuales doméstico-municipales, sin embargo, la geología de la zona permite que el pH de los cursos de agua sean básicos (Formación Calizas Ayabacas) atenuando la dilución de los minerales en iones y su transporte respectivo hacia la cuenca media y baja.

En la cuenca media, caracterizada por ser una zona de tránsito, en donde el proceso dominante es el de transporte, la calidad del agua superficial es buena en el 100%, sin embargo, se observa que el punto RLamp2 linda con regular por su ubicación, como consecuencia de vertimientos de aguas residuales doméstico-municipales y residuos sólidos (de la localidad de Cabanillas). En esta zona no hay presencia de actividad minera, pero si se tiene actividades de extracción de materiales de construcción como grava y arena, ocasionando sólidos en suspensión, la geología influye en el pH del agua (básico).

La cuenca baja, que viene a ser la zona de deposición o sedimentación, dada la topografía por donde discurre, el río Coata disipa su caudal con un proceso dominante de sedimentación. En esta zona la calidad del agua, considerando los puntos de monitoreo ubicados en la desembocadura del Lago Titicaca (LCoat, LCoat1, LCoat2 y LCoat3), es de buena calidad en 56% (RCoat, RCoat1, RCoat2, RCoat3 y LCoat3), regular en 33% (LCoat, LCoat1, LCoat2) y mala en 11% (RToro2) como consecuencia de la alta densidad demográfica (ciudad de Juliaca), la generación de residuos sólidos, vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales (con caudal superior a 250 L/s). La geología de la zona, conformada por sedimentos mayormente carbonatados de la Formación Ayabacas, permite que el pH del agua sea básico, empero los procesos de modelamiento geomorfológico han rellenado con material erosionado, de la parte alta e intermedia, la cuenca existente del altiplano, formando extensas planicies cuya composición mineralógica influye en la calidad del agua subterránea de las localidades de Juliaca, Huata y Coata.

Por consiguiente, los resultados evidencian que la calidad de agua en la Unidad Hidrográfica Coata, varían en función a la gradiente altitudinal, geología de la zona, actividades productivas, densidad poblacional y fuentes contaminantes, como la

generación de residuos sólidos y aguas residuales. La calidad del agua superficial en la cuenca alta es mayormente regular (su calidad a menudo se aleja de los valores deseables, muchos de los usos necesitan tratamiento), en la cuenca media es bueno (las condiciones deseables de calidad pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud), y en la cuenca baja están entre bueno, regular y malo, malo en el punto de monitoreo del río Torococha (RToro2), donde la calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad (frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas, muchos de los usos necesitan tratamiento).

Al respecto, Sánchez *et al.* (2004), establecen que las Calizas Ayabacas se distribuye sobre el altiplano según una dirección SE-NO, consta mayormente de calizas grises, de textura fina y uniforme con intercalaciones de limoarcillitas, con abundante yeso. En el sector de Ayabacas (Cuadrángulo de Juliaca), las calizas están bien expuestas, y es de notar que regionalmente, sus afloramientos disminuyen de espesor hacia el NE. Como se indica en la investigación.

Gil *et al.* (2013) y Rondón (2008), señalan que la calidad de agua del río Guarapiche estará muy vinculado al crecimiento demográfico de los centros poblados localizados en el valle. Incurriendo esto al aumento de todas las actividades que afectan de una u otra manera la calidad del agua sobre la actividad agrícola y mal funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, cuya ocurrencia en la Cuenca Baja de la Unidad Hidrográfica Coata se da, en forma similar, en el punto RToro2 (Juliaca).

Gil *et al.* (2018), para parámetros físicos, sostienen que los valores de pH por encima de ocho (8) observados en las tres primeras estaciones de la cuenca alta se deben posiblemente a las condiciones geológicas por la formación cretácea de la zona. La conductividad eléctrica en el agua, se debe a la ionización de sólidos inorgánicos disueltos y se convierten en una medida de STD y, para parámetros químicos indica que de los cationes estudiados (Fe, Mn, Na y K), el Fe y Mn, en algunas estaciones de muestreo presentaron valores por encima de los estándares actuales de la Norma venezolana. El Fe se origina de los sedimentos erosionados en la parte alta de la cuenca y que son arrastrados a los cuerpos de agua a través de procesos de escorrentía hacia la cuenca baja.

Belizario *et al.* (2019), concluyen que la concentración de metales y fósforo en dos épocas de muestreo de las aguas superficiales en la parte baja de la cuenca del río Coata fue determinada: aluminio 1,043 mg/L y 0,142 mg/L, hierro 0,856 mg/L y 0,184 mg/L,

manganeso 0,106 mg/L y 0,460 mg/L. Las concentraciones de arsénico 0,029 mg/L y fósforo 10,287 mg/L en época de estiaje superan los niveles permisibles de los ECA Minam. La conductividad eléctrica fue de 1 680 μ S/cm. Las causas de la contaminación fueron antrópicas por el vertido de aguas residuales de la ciudad de Juliaca.

Quispe *et al.* (2019), concluyen que en los sedimentos superficiales del río en la cuenca baja del río Coata hay presencia de las concentraciones de los metales pesados como Cd, Cr, y Pb, sin embargo, el Pb y Cd están por debajo de los límites establecidos en los estándares de calidad ambiental, mientras que el Cr se encuentra por encima de los ECA para suelos, además la concentración de Cd y Pb disminuye desde el primer punto hasta el punto cinco, pero el Cr tiene distinto comportamiento con los dos anteriores, asimismo, el punto más crítico es la desembocadura del río Torococha.

Apaza & Calcina (2014), mencionan que las aguas subterráneas en la localidad de Huata son de mala calidad por la alta dureza, las concentraciones de arsénico en aguas subterráneas poco profundas de acuífero libre (nivel freático alto), cuya ocurrencia y mecanismo de transporte se atribuye del alto contenido de sales disueltas a condiciones oxidantes, respecto a la procedencia de arsénico, no se ha determinado la fuente de donde proviene, sin embargo puede estar vinculado a los terrenos volcánicos de la Cordillera Occidental de los Andes, donde el arsénico está presente en diferentes especies de minerales, éstas al ser meteorizadas y lixiviadas son transportadas por flujos de agua superficial y subterránea sean en condiciones anóxicas u oxidantes. Se descarta posibilidades de una contaminación inducida por fuentes industriales u otro entorno del área evaluada en razón de ausencia de actividad minera local o próxima en la zona de estudio.

Reyes *et al.* (2016), indican que la cuenca del río Bogotá se divide en tres tramos: cuenca alta, que inicia en el Páramo de Guacheneque y finaliza en Chía. La cuenca media parte de Chía y finaliza en Sibaté. Finalmente, la cuenca baja que desemboca en el río Magdalena. A lo largo de todo el tramo, se presenta contaminación de metales pesados como resultado de la agroindustria y actividad minera (Cuenca Alta), curtiembres en la localidad de San Benito (Cuenca Media) e industria ganadera, explotación ganadera e industrial (Cuenca Baja).

Méndez & Armienta (2012), afirman que los rangos de pH observados en el río Taxco, son acordes a la geología de la zona con presencia importante de roca caliza. Asimismo,

influye en la composición y favorece las condiciones neutras-alcalinas que presentan las aguas de dicho río. Los elementos que se encontraron por arriba de la norma fueron Fe, Zn, Cu y Cd. Conforme a las condiciones fisicoquímicas encontradas en el transecto estudiado y a los índices de saturación calculados podemos decir que los metales tienden a precipitar como carbonatos o hidróxidos o adsorberse sobre partículas sólidas en suspensión, principalmente hidróxido de hierro, y se incorporan rápidamente en los sedimentos lo que disminuye su concentración total río abajo.

Amado *et al.* (2006), encontraron que en el diagnóstico de la calidad del agua en la cuenca del Amajac, el 29% de los sitios muestreados se clasificó como de calidad media (ICA= 50-68); el 59% de los cuerpos de agua están en la categoría de contaminados en el intervalo de ICA= 30 a 49, que podría tener uso industrial o agrícola con tratamiento y el 12% de cuerpos de agua presentan un ICA < a 30 estando altamente contaminados no adecuados para cualquier uso.

Puerta (2019), concluye que mediante el ICA-PE, la calidad de agua en las tres estaciones de monitoreo, el río Mayo (RMayo1) presentó menor valor (ICA-PE= 71.84) calificado como REGULAR respecto a los parámetros evaluados, indicando que su calidad ocasionalmente es amenazada o dañada, alejándose de los valores deseables y muchos de los usos requieren un tratamiento, esto debido a que tiene menos volumen de agua y en su recorrido, antes de su desembocadura, se encuentra más próximo a densidades poblacionales. El río Huallaga presentó calidad BUENA en las estaciones RHual1 y RHual2, con valores de 83.05 y 86.74 respectivamente, alejándose un poco de la calidad natural del agua y las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud, sin embargo, los valores presentados nos muestran que los ríos evaluados a pesar de la influencia que ejerce el ser humano, sobre los mismos, todavía mantiene una alta capacidad de autodepuración de sus aguas.

Estadísticamente, mediante un análisis de varianza de un factor (zonas), se determina que los valores ICA-PE difieren significativamente en las tres zonas de la Unidad Hidrográfica Coata. De la tabla ANOVA (Anexo 8) tenemos el test $F=0,924995$ al que corresponde un valor $P= 0,4167311$, este valor P es mayor que el nivel de significancia ($P > \alpha$), ya que $0,41673 > 0,05$, evidenciando que las observaciones respaldan una diferencia en la calidad de agua como producto de la acción de las fuentes contaminantes existentes en la Unidad Hidrográfica Coata.

CONCLUSIONES

- En el ámbito de la Unidad Hidrográfica Coata se ha determinado que las formaciones geológicas incluyen rocas sedimentarias volcánicas y volcano-sedimentarias, sus edades van desde la Formación Calapuja (Paleozoico Ordovícico Superior) hasta la Formación Azángaro (Cenozoico Plioceno-Pleistoceno) y están cubiertas localmente por depósitos recientes poco consolidados del Cuaternario-Holoceno; observándose diferencias desde la zona de cuenca alta con predominancia de rocas volcano-sedimentarias, que han favorecido la mineralización de la zona, la cuenca media mayormente de rocas sedimentarias y la cuenca baja con mayor dominio de unidades del Cuaternario.
- Las fuentes contaminantes relacionadas con los recursos hídricos de la Unidad Hidrográfica Coata, son de origen antropogénico, siendo su comportamiento y evolución cuantitativa del año 2015 al 2019 de ocho (8) vertimientos de aguas residuales municipales, no presenta variación; los vertimientos de aguas residuales industriales en el año 2015 fueron en número de cinco (5) y en el 2019 disminuyen a cuatro (4) vertimientos: mientras que los botaderos de residuos sólidos identificados en el año 2015, fueron de 25, y presenta una disminución sustancial a siete (7) en el año 2019, como consecuencia de la adecuación a la normativa ambiental vigente y las sustancias descargadas *in situ* se incrementaron de uno (1) a tres (3) en el año 2019.
- Los resultados obtenidos del ICA-PE, en la Unidad Hidrográfica Coata período 2015 – 2019, de un total de nueve monitoreos en las épocas de estiaje y avenida, presentan el siguiente comportamiento: En la cuenca alta, la tendencia de la calidad del agua superficial, es bueno (ICA-PE=75-89) en un 29% y de 71% regular (ICA-PE=45-74), calidad que es alterada por lixiviados provenientes de pasivos ambientales mineros, unidades mineras y descarga de aguas residuales doméstico-municipales; en la cuenca media, la calidad del agua superficial es bueno (ICA-PE=75-89) en el 100%, sin embargo, se observa que el punto RLamp2 linda con regular (ICA-PE= 45-74), afectado por vertimientos de aguas residuales doméstico-municipales y residuos sólidos (de la localidad de Cabanillas); en la cuenca baja, la calidad de agua es bueno (ICA-PE=75-89) en 56%, regular (ICA-PE=45-74) en 33% y malo (ICA-PE=30-44) en 11%, el que corresponde al punto (RToro2) afectado por la alta densidad demográfica (ciudad de Juliaca), generación de residuos sólidos, vertimiento de aguas



residuales domésticas e industriales. La geología de la zona, conformada por sedimentos mayormente carbonatados de la Formación Ayabacas, permite que el pH del agua sea básico.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar como referencia la metodología y resultados obtenidos en la presente investigación, para la realización de estudios similares en las Unidades Hidrográficas: Azángaro, Pucará, Suches, Huancané, Illpa e Ilave de la Región Puno.
- Realizar estudios de correlación con los sedimentos en los cuerpos de agua evaluados, para determinar la migración de metales pesados desde la cuenca alta hasta la desembocadura en el lago Titicaca.
- Es necesario realizar estudios en las fuentes puntuales de contaminación para determinar la incidencia de cada una de ellas en la variación de la calidad del agua superficial.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta *et al.* (2009). *Memoria Mapa Metalogénico del Perú 2009*. Lima - Perú: INGEMMET.
- Acosta, *et al.* (2008). *Épocas metalogénicas y tipos de yacimientos metálicos en la margen occidental del Sur del Perú: latitudes 14°s – 18°s. Resúmenes extendidos*. XIV Congreso de Geología.
- ALT. (2001). *Informe Final: Propuesta de nuevos linderos de la Reserva Nacional del Titicaca, realizada por CIRNMA y CEDAFOR*. Puno-Perú: http://www.altperubolivia.org/Web_Bio/PROYECTO/Docum_peru/21.27%20NuevosLinderos.pdf.
- Amado, J. *et al.* (2006). *Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac*. Hidalgo, México: *Diagnóstico y Predicción*. Phytón vol. 75, pp. 71-72. México.
- ANA. (2011). *Codificación y Clasificación de Cursos de Agua Superficiales del Perú. Informe Final*. 76 pp. Lima - Perú.
- ANA. (2011). *Identificación de fuentes contaminantes y monitoreo participativo de la calidad del agua en las cuencas Pasto Grande, Ilave, Coata e Illpa. Informe Técnico N° 1023-2011-ANA-DGCRH/RGC*.
- ANA. (2012). *Resultado del Monitoreo de la Calidad de las Cuencas Coata, Ilave, Illpa y Embalse Pasto Grande y río Margaritani. Informe Técnico N° 009-2012-ANA-DGCRH7CGEL-RGC*.
- ANA. (2014). *Resultados del monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de la Cuenca del Río Coata-Puno, octubre-2014 (Informe Técnico N° 042-2014-ANA-DGCRH-GOCRH)*. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. 64 p. Lima - Perú.
- ANA. (2015). *Resultados de monitoreo participativo de la calidad de agua superficial en los cuerpos de agua de la Unidad Hidrográfica Coata-Puno, setiembre 2015 (Informe Técnico N° 172-2015-ANA-AAA.TIT-SDGCRH)*. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. Lima - Perú.
- ANA. (2016). *Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos. Resolución Jefatural N° 139-2016-ANA*. 25 pp. Lima - Perú.

- ANA. (2016). *Priorización de Cuencas para la Gestión de los Recursos Hídricos*. 90 pp. Lima - Perú.
- ANA. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Autoridad Nacional del Agua – DGCRH – ANA: Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.
- ANA. (2017). *Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento*. Ley N° 29338. Primera reimposición. DGCCI-ANA. Lima - Perú.
- ANA. (2018). *Lineamientos para la Identificación y Seguimiento de Fuentes Contaminantes relacionadas con los Recursos Hídricos*. ANA. 42 pp. Resolución Jefatural N° 136-2018-ANA. Lima - Perú.
- ANA. (2018). *Metodología para la Determinación del Índice de la Calidad del Agua ICA-PE, Aplicado a los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales*. ANA. 56 pp. Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA. Lima - Perú.
- ANA. (2019). *Resultados de monitoreo participativo de la calidad de agua superficial en los cuerpos de agua de la Unidad Hidrográfica Coata-Puno, setiembre 2019*. Informe Técnico N° 055-2019-ANA-AAA.TIT-AT/RWAA. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. Lima - Perú.
- Andrade, A., & Navarrete Le Blas, F. (2004). *Lineamientos para la aplicación del Enfoque Ecosistémico a la Gestión Integrada del recurso Hídrico*. © Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA - Oficina Regional para América Latina y el Caribe. México.
- Andrade, M. F. (2018). *Atlas – Clima y eventos extremos del Altiplano central Perú-boliviano 1981-2010*. Geographica Bernencia, 188 pp.
- Apaza R., & Calcina M. (2014). *Contaminación natural de aguas subterráneas por arsénico en la zona de Carancas y Huata, Puno*. Rev. Investig. Altoandin. [Revista en internet]. 2014; 16 (1): 51-58. [Acceso el 15 de noviembre del 2018]. <http://huajsapata.unap.edu.pe/ria/index.php/ria/article/view/35/30>.
- Apaza, R. (2014). *CONTAMINACIÓN NATURAL DE AGUAS SUBTERRANEAS POR ARSÉNICO EN LA ZONA DE CARANCAS Y HUATA, PUNO*. Junio de 2014. https://www.researchgate.net/publication/287945890_CONTAMINACION_NATU

RAL_DE_AGUAS_SUBTERRANEAS_POR_ARSENICO_EN_LA_ZONA_DE_
CARANCAS_Y_HUATA_PUNO.

- Balmaceda, C., & García, Y. (2014). *Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 23, No. 3 (julio-agosto-septiembre, pp. 11-16).*
- BALVANERA, P. H. (2009). *Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, In: CONABIO, Capital Natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio, México, pp. 185-245.*
- Barranca, A. (2015). *Actualización de Unidades Hidrográficas y Codificación de Fuentes de agua Superficial en Ámbitos de Administraciones Locales de Agua, en: Memoria Descriptiva, 95 pp. (MINAGRI-ANA, Ed.) Disponible en <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20>.*
- Barrenechea, A. (2004). *ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA (Vol. 1).* Lima: Recuperado el 29 de 04 de 2018, de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>.
- Belizario, G. et al. (2019). *Determinación del contenido de Fósforo y Arsénico, y de otros metales contaminantes de las aguas superficiales del Río Coata, afluente del lago Titicaca, Perú.* Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/342076304>.
- Bernal, C. A. (2016). *Metodología de la Investigación. (Cuarta ed.).* Bogotá - Colombia.
- Cabildo Ma, et al. (2013). *Bases Químicas del Medio Ambiente. M^a del Pilar C. M., M^a del Pilar C.R. et. al. Universidad de Educación a Distancia Madrid. 2013. Pp. 387-420.*
- Carabias, J. & Landa, R. (2005). *Agua, Medioambiente y Sociedad: Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México.* México D.F.: UNAM.
- Cerpa L. et al. (2015). *Ocuviri. Geología y Metalogenia.* Lima - Perú: INGEMMET-DGR.
- Codenet. (2017). *Proyecto "Concertación y participación ciudadana para la gestión medioambiental en Huata". Primer Informe Técnico Trimestral del Monitoreo Ambiental de la calidad del Agua y Suelo del distrito de Huata. Diciembre 2017.*

- Corrales, I. *et al.* (1977). *Estratigrafía*. Madrid - España: Rueda.
- Cotler, H. (2010). *Perspectivas sobre las cuencas hidrográficas de México: Introducción en: Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización*. México D.F.
- Custodio, M. *et al.* (2013). *Evaluación de la calidad del agua del río Cunas Índices fisicoquímicos y biológicos, Junín – Perú. Prospectiva Universitaria. Vol. 10 N° 1 y 2, pp. 13 – 16.*
- Dávila, J. (2011). *Diccionario geológico. INGEMMET*. Lima – Perú: Disponible en: www.arth-altuna.com.
- Fernández, N. *et al.* (2004). *Una Herramienta Informática para el Análisis y Valoración de la Calidad del Agua. Bistua: vol. 2, N° 002. Universidad de Pamplona, pp. 88-97.* Bucaramanga - Colombia.
- Garrido, A., Pérez, J., & Guadarrama, C. (2010). *Delimitación de las Zonas Funcionales de las Cuencas Hidrográficas de México en: Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización*. México D.F.
- GEOCATMIN. (2020). *Base de datos*. Lima - Perú: INGEMMET.
- Gil, M. *et al.* (2013). *Evaluación de la calidad microbiológica y niveles de nitratos y nitritos en las aguas del río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela. Revista Científica UDO 154 Agrícola 13(1): 154-163.*
- Gil-Marín, J. *et al.* (2018). *Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del río Guarapiche, Monaguas, Venezuela. Anales Científicos. 79(1): 111 – 119 (2018).* © Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
- Girardi, C. *et al.* (2018). *Metodología de Construcción de Índice de Calidad para aguas superficiales en: Escenarios Hídricos 2030*. Santiago - Chile: Disponible en www.escenarioshidricos.cl/multimedia.
- Gómez D., Carlos, & De León, E. (2014). *MÉTODO COMPARATIVO en: Métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas aplicables a la investigación en ciencias sociales*. México D.F.: Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/9802/1/Estudio%20Comparado.pdf>.

- Guerrero, B., & Zabala, C. (2006). *Influencia de la actividad minera en la cuenca del río Ramis-Puno. XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica del Perú. Pp. 127-130.*
- Hernández, R. et al. (2014). *Metodología de la Investigación. (6ta ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores.*
- Herrmann, C., & Zappettini, O. (2014). *Recursos Minerales, Minería y Medio Ambiente. Serie Publicaciones N° 173. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, 68p. Buenos Aires - Argentina.*
- INEI. (2013). *Perú: estimaciones y proyecciones de población total y edades quinquenales, según departamento, provincia y distrito, 2005-2015. Lima: INEI – Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales. Boletín Especial N° 21. .*
- INEI. (2017). *Censos Nacionales de Población y Vivienda.*
- INGEMMET. (2002). *Boletín N° 11 Serie B: Geología Económica. Estudio de Recursos Minerales del Perú Franja N° 2. DGEP.*
- INGEMMET. (2011). *Memoria sobre la Geología económica de la Región Puno.*
- INGEMMET. (2012). *Mapa Geológico de la Región Puno .*
- INGEMMET. (2018). *Estimación del potencial minero metálico del Perú y su contribución económica al Estado, acumulado al 2050. Lima - Perú.*
- INGEMMET. (2019). *Base de Datos.*
- INGEMMET. (2020). *Geología de los cuadrángulos de Puno (hojas 32v1, 32v2, 32v3, 32v4) y Ácora (hojas 32x1, 32x2, 32x3 y 32x4), Boletín Serie L: Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000) N° 2. Lima - Perú.*
- INRENA. (2007). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú. Instituto Nacional de Recursos Naturales- Intendencia de Recursos Hídricos. 29 p.*
- INRENA. (2007). *Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca de los ríos Cabanillas y Lampa. ATDR. Juliaca – Perú.*
- Jiménez, J., & Llico, M. (2020). *Evaluación de la calidad del agua en el río Muyoc, aplicando el índice de calidad ambiental para agua, Cajamarca 2019 (Tesis de*

- licenciatura*). *Repositorio de la Universidad Privada del Norte*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/23984>.
- Juárez, E. (2014). *Geología Económica*. Lima Perú: Disponible en: https://www.academia.edu/31072466/Geolog%C3%ADa_econ%C3%B3mica.
- Laubacher, G. (1978). *Estudio geológico de la región norte del Lago Titicaca*. INGEMMET. Boletín. Serie D: Estudios Especiales, n. 5, 120 p.
- Ley N° 28271. *Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera*. (2004).
- Llerena, C. (2003). *Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias, posibilidades de aplicación en Perú*. 3er. Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Arequipa - Perú: Disponible en: <https://docplayer.es/38310600-Servicios-ambientales-de-las-cuencas-y-produccion-de-agua-conceptos-valoracion-experiencias-y-sus-posibilidades-de-aplicacion-en-el-peru.html>.
- Lujano, E. (2013). *Caracterización Hidrológica y Eventos Extremos en las Cuencas de los Río Coata e Ilave*. SENAMHI. 125 pp. Puno - Perú.
- Méndez, M., & Armienta, M. (2012). *Distribución de Fe, Zn, Pb, Cu, Cd y As originada por residuos mineros y aguas residuales en un transecto del río Taxco en Guerrero, México*. *Rev. mex. cienc. geol* vol. 2 México ago. 2012.
- Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería ambiental: Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño*. México D.F.
- MINAM. (2013). *Línea Base Ambiental de la Cuenca del Lago Titicaca*.
- MINAM. (2017). *D.S. N° 004-2017-MINAM: Aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establece disposiciones complementarias*.
- MINAN. (2005). *Ley N° 28611. Ley General del Ambiente*.
- MMAYA. (2010). *Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de Bolivia- Metodología PFAFSTETTER*. La Paz – Bolivia.
- Mosqueira, S. (2014). *Introducción a la Química y el Ambiente*. Primera edición. México D.F.

- Naupas, H, *et al.* (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. 5a. Edición. Bogotá: Ediciones de la U, (pág. 140).*
- Navarrete, E. (2005). *Texto del Ing. EDISON NAVARRETE profesor de Geología General FICT – ESPOL 2005.* Disponible en:
<https://fdocuments.ec/reader/full/apuntes-de-geologia-general-navarrete-58bb3d40f1327>.
- Ocola, J., & Laqui, F. (2017). *Fuentes contaminantes en la Cuenca del Lago Titicaca. ANA, 187 pp.* Lima - Perú.
- OEFA. (2015). *INFORME N° 244-2015-OEFA/DE-SDCA. Informe de monitoreo de agua y sedimentos realizado del 7 al 9 de abril de 2015, en la cuenca del río Coata y afluentes; en los distritos de Capachica, Huata, Coata, Juliaca, Caracoto, Cabanillas y Lampa.* Disponible en: IF_252-2015-OEFA-DE-SDCA.pdf.
- ONERN. (1965). *Programa de inventario y evaluación de los recursos naturales del departamento de Puno, 225 pág. .* Lima – Perú.
- ONU-DAES. (2014). *Decenio Internacional Para la Acción “El Agua fuente de Vida” 2005-2015.* Disponible en:
<http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>.
- Ordoñez, J. (2012). *Cartilla Técnica ¿Qué es Cuenca Hidrológica?: Aguas Subterráneas-Acuíferos. Sociedad Geográfica de Lima-Perú.*
- Pajuelo, D. (2016). *Características geológicas de la zona geotérmica de Pinaya región Puno. INGEMMET.* Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/312890657> .
- Pardo, & Ayala. (1995). *Optimización por Diseños Experimentales con Aplicaciones en Ingeniería.* Lima - Perú: CONCYTEC.
- Puerta, C. (2019). *Determinación de la influencia de la descarga del río Mayo en la calidad de agua del río Huallaga, a través de los ICA-PE. Tesis de grado en Ingeniería Ambiental- Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto. 79 p.*
- Quiroz, L. *et al.* (2017). *Aplicación del Índice de Calidad del Agua en el río Portoviejo, Ecuador. Riha vol. 38, N° 3, La Habana, Cuba. 10 pp.*

- Quispe, J. *et al.* (2020). *Efectos de la contaminación hídrica sobre la salud pública de la población de la Cuenca Coata, de la región de Puno–2019. Journal of Academy* núm 3, 1-16. www.doi.org/10.47058/joa3.1.
- Quispe, R. *et al.* (2019). *CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS: CROMO, CADMIO Y PLOMO EN LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES EN EL RÍO COATA, PERÚ*. Obtenido de:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426360705003>;
<http://www.bolivianchemistryjournal.org>,
<http://www.scribd.com/bolivianjournalofchemistry>
- Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA (2018). Metodología para la determinación del Índice de calidad de Agua ICA-PE Aplicado a los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales. MINAGRI-ANA. (s.f.). Lima - Perú.*
- Resolución Jefatural N° 139-2016-ANA (2016). Priorización de Cuencas para la Gestión de los Recursos Hídricos. (s.f.).*
- Reyes, Y, *et al.* (2016). *Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, Vol. 16 N° 2, pp. 66-67. Sogamoso-Boyacá. Colombia.*
- Rondón, C. (2008). *Análisis ambiental del Río Guarapiche como fuente de abastecimiento de agua de Maturín. Estado Monagas. Venezuela. (Trabajo especial de grado). Universidad de Margarita, Nueva Esparta.*
- Ros, A. (2010). *El Agua*. Disponible en:
https://www.academia.edu/31354888/EL_AGUA_pdf?email_work_card=abstract-read-more.
- Samboni, R. *et al.* (2007). *Revisión de Parámetros Físicoquímicos como Indicadores de Calidad y Contaminación del Agua. Ingeniería e Investigación, Vol. 27, N° 3, Universidad Nacional de Colombia. pp. 172-181. Bogotá - Colombia.*
- Sánchez, F. & Zapata, A. (2003). *Memoria Descriptiva de la Revisión y Actualización de los cuadrángulos de Sicuani, Nuñoa, Macusani, Limbani, Sandia, San Ignacio, Yauri, Azángaro, Putina, La Rinconada, Condorama, Ocuvi, Juliaca, Callalli y Ácora.*

- Sánchez, Y, *et al.* (2004). *Régimen de sedimentación en cuencas distensivas. Las calizas Ayabacas durante el Cretáceo Superior (Zonas de Ilave, Ácora, Ayabacas, Mazo cruz) Ubicadas en el sur del Perú. Revista del Instituto FIGMMG, Vol. 7, N° 14, 48-53.* Lima - Perú.
- Scobar, J., & Barg, U. (1990). *La Contaminación de las Aguas Continentales de Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Panamá, Perú y Venezuela. FAO. Roma. 24 pp.*
- SEMARNAT. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. (1ra ed.).* México D.F.
- SENAMHI. (2016). *Oferta hídrica superficial del río Coata-Puno bajo escenarios de Cambio Climático.*
- SENAMHI-DGH. (2009). *Balance hídrico superficial del Perú a nivel multianual.*
http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/hidro_ArtiBHSMultianual.pdf.
- SNMPE. (2004). *Informe quincenal Noviembre II-2004. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía.* Lima - Perú.
- Valcárcel, L. *et al.* (2009). *El índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. Año 9, N° 16, 2009 ISSN-1683-8904. Disponible en: Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo.*
- Valdivia, E. & Rodríguez, R. (2003). *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Lagunillas (32-u), INGEMMET.* Lima – Perú.
- Villamagua, G. (2012). *Módulo 3. Gestión Integrada de los recursos Hídricos- GIRH. ©UICN Mesoamérica. 53 pp.*
https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/modulo_3_girh.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Parámetros en la evaluación de la calidad del agua

Oxígeno Disuelto: Es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua superficial, su presencia en el agua se debe al aporte del oxígeno de la atmósfera y de la actividad biológica (fotosíntesis) en la masa de agua. El oxígeno disuelto, es un parámetro ambiental vital, porque su evaluación permite informar y/o reflejar la capacidad recuperadora de un curso de agua y la subsistencia de la vida acuática.

Clorofila A: La Clorofila, es un parámetro ambiental para determinar la biomasa de los fitopláctones. Todas las plantas verdes contienen clorofila A, que representa aproximadamente del 1 al 2% de todo el peso seco de las algas del plancton.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): La DQO se usa como una medida del oxígeno equivalente del contenido de materia orgánica. Es una variable importante que puede medirse rápidamente para determinar la contaminación de los cuerpos naturales de agua superficiales por las aguas servidas, desechos industriales de tipo orgánico y efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales domésticos e industrial con alto contenido de materia orgánica.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): La DBO₅ es un parámetro relacionado como aporte de la materia orgánica, mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para oxidar, degradar o estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas, su determinación es en base a la oxidación natural de degradación. Asimismo, como antecedente se puede mencionar que, en los monitoreos de calidad del agua de las cuencas hidrográficas del Perú, se han encontrado presencia de este parámetro cuyas concentraciones superan los ECA - Agua.

Coliformes Termotolerantes (Fecales): La presencia de este parámetro en los cuerpos de agua superficial se debe a la contaminación fecal, cuyo origen puede deberse a los vertidos domésticos sin tratamiento a los cuerpos receptores (ríos, quebradas) y otros de los factores, puede ser por la inadecuada disposición de residuos sólidos que se depositan en los cauces de los ríos.

Huevos y Larvas de Helminetos: Los helmintos hacen referencia a todos los tipos de gusanos, tanto los parasitarios como los no parasitarios. Los helmintos parásitos infectan

a numerosas personas y animales. Este parásito está asociado a las aguas residuales domésticas sin tratamiento, su vía de infección es por el consumo de agua contaminada.

METALES TÓXICOS:

Arsénico: Metal pesado venenoso y muy tóxico, en aguas naturales se presenta como arseniato (AsO_4^{3-}) y arsenito (AsO_2^+); su presencia puede tener origen en descargas industriales o uso de insecticidas. De acuerdo a los estudios realizados por la ANA se ha encontrado en algunos puntos de muestreo de las cuencas hidrográficas evaluadas la presencia del arsénico debido a su aportación litológica de la zona. La actividad minera aporta de manera puntual la presencia de este elemento.

Mercurio: Su presencia en las aguas se debe principalmente a las actividades antrópicas (minería, etc.), salvo en algunos lugares que por su propia naturaleza se encuentran depósitos de este mineral. Generalmente es un elemento que no abunda en la naturaleza (corteza terrestre).

Plomo: El Plomo es un elemento relativamente de menor importancia en la corteza terrestre, pero está ampliamente distribuida en bajas concentraciones en rocas sedimentarias y suelos no contaminados. El plomo es tóxico para los organismos acuáticos pero el grado de toxicidad varía mucho, según sea las características de la calidad del agua y de las especies bajo estudio. En los monitoreos en ríos de la selva realizado por la ANA, se han evidenciado la presencia de Plomo- excede ECA-Agua.

Cadmio: El Cadmio se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuro y como impureza de minerales de zinc y plomo. Su presencia en el agua se da debido a las actividades mineras y de fundición.

Cromo: La concentración de cromo en los cuerpos naturales de agua por lo general es muy pequeña. La actividad minera y los procesos industriales pueden producir elevadas concentraciones de este elemento. Es un metal tóxico, para la salud humana.

Cobre: Es un elemento altamente distribuido en las cuencas hidrográficas, pero la mayoría de los minerales de cobre son relativamente insolubles – debido a que el cobre es absorbido en fase sólida, solo existe en bajas concentraciones en las aguas naturales. Debido a la presencia de sulfuros, el cobre debería ser aún menos soluble en ambientes anóxicos. La presencia de mayor concentración en aguas naturales superficiales puede atribuirse a desechos industriales y/o actividades de minería.

Zinc: Es un elemento que abunda en las rocas y minerales, pero tiene baja concentración en las aguas naturales debido a la falta de solubilidad del metal. Está presente en cantidades trazas en casi todas las aguas alcalinas superficiales, pero se eleva su concentración en aguas ácidas. En concentraciones moderadas es considerado como un parámetro esencial para la nutrición de los hombres, siendo también tóxico para los organismos acuáticos debido a su variación en concentración y a los factores según sean las características de la calidad del agua y de las especies bajo estudio.

Hierro: Es un elemento que abunda en la corteza terrestre. Pero, por lo general, se da en pequeña concentración en los sistemas de aguas naturales. La forma y solubilidad del hierro en las aguas naturales depende en gran medida del pH y potencial redox del agua. El hierro se presenta en estado de oxidación +2 y +3. Su selección es para definir que su presencia en las aguas naturales se debe al aporte de su propia naturaleza del lugar.

Manganeso: El manganeso es un metal relativamente común en las rocas y suelos, donde se presenta como óxidos e hidróxidos. Su evaluación es de gran importancia para controlar las concentraciones de diversos metales trazas existentes en los cuerpos de agua natural. Su elección de este parámetro es para comprobar que su presencia es netamente natural.

Aluminio: Es uno de los elementos que más abunda en la corteza terrestre, pero su presencia en las aguas naturales es ínfima. Dado que el aluminio existe en muchas rocas, minerales y arcillas, está presente en todas las aguas superficiales, pero su concentración en las aguas con un pH cercano al natural raramente supera unas pocas décimas a 1mg/L.

Boro: El boro, es un elemento que se encuentra en las aguas naturales debido a dos factores, al aporte de la geología natural y/o a los vertidos de efluentes de aguas residuales tratadas y no tratadas. Su presencia de este elemento en el agua tiene un efecto nocivo en ciertos productos agrícolas, incluidos los cítricos. Asimismo, para aguas destinadas para el consumo poblacional que contiene boro, puede originar un problema en la salud de las personas.

pH: El pH en las cuencas hidrográficas donde escurren aguas naturales sin actividad antrópica, en cierta forma está determinado por la geología de la cuenca y se rige por los equilibrios dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato. El pH en la mayoría de las aguas varía entre 6,5 a 8,5 (turbulencia y aireación). La evolución química de muchos metales,

su solubilidad del agua y biodisponibilidad están determinadas por el pH. Por tanto, es un parámetro de mucha importancia en la evaluación de la calidad del agua.

Sólidos suspendidos totales: Su presencia en los cuerpos de agua natural se relaciona con los factores estacionales y regímenes de caudal y es afectado por la precipitación. Su concentración varía dependiendo del lugar, según sea la hidrodinámica del cauce, el suelo, la cubierta vegetal, el lecho, las rocas y actividades antrópicas como la agricultura, minería, entre otros. Su evaluación en la calidad del agua es de mucha utilidad, porque afecta la claridad del agua y la penetración de la luz, la temperatura y el proceso de la fotosíntesis.

Fósforo: El fósforo ingresa a las aguas superficiales por los vertimientos de saneamiento, es el segundo principal nutriente y responsable de eutrofización de los cuerpos de agua superficial. Todos estos tipos de fósforo ingresan a las aguas naturales superficiales a través de vertidos residuales domésticos y por escorrentía de la actividad agrícola y debido a su capacidad como nutriente, es la responsable del crecimiento de las algas en los cuerpos naturales de agua.

Amoníaco: Se forma por desanimación de compuestos orgánicos nitrogenados y por hidrólisis de la urea. El amoníaco es fácilmente captado por las plantas y puede contribuir a la productividad biológica, en presencia de oxígeno se oxida a nitritos y nitratos (nitrificación). En condiciones anaeróbicas, el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco ionizado (NH_4^+) y no ionizado (NH_3). El amoníaco no ionizado es tóxico para los peces a concentraciones relativamente bajas. Sin embargo, está en equilibrio con el ion NH_4^+ menos tóxico y para el pH y temperatura de la mayor parte de las aguas naturales, su concentración relativa es bastante baja.

Nitrógeno Total: Su estudio es de gran importancia debido a los procesos vitales como nutrientes para las plantas, su aporte a las aguas naturales superficiales se debe a las aguas residuales domésticas sin tratamiento. Además, los vertidos ricos en nitrógeno pueden causar problemas de eutrofización y de nitrificación, con la consecuente concentración de nitratos y riesgos de contaminación para los usuarios que consumen estas aguas. Asimismo, es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de las algas y, por otra, causa una demanda de oxígeno al ser oxidado por las bacterias nitrificantes, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto.



Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH): Es un compuesto muy insoluble en el agua y resulta muy tóxico para los organismos acuáticos. La presencia de este compuesto en el ambiente y en especial en el recurso hídrico, es debido a los accidentes, desde industrias o como productos secundarios a raíz de su uso comercial o privado. Cuando hay derrames de TPH directamente al agua, algunas fracciones de los TPH flotarán en el agua, formando una capa delgada en la superficie. Otras fracciones más pesadas se acumularán en el sedimento del fondo, lo que puede afectar a peces y a otros organismos que se alimentan en el fondo.

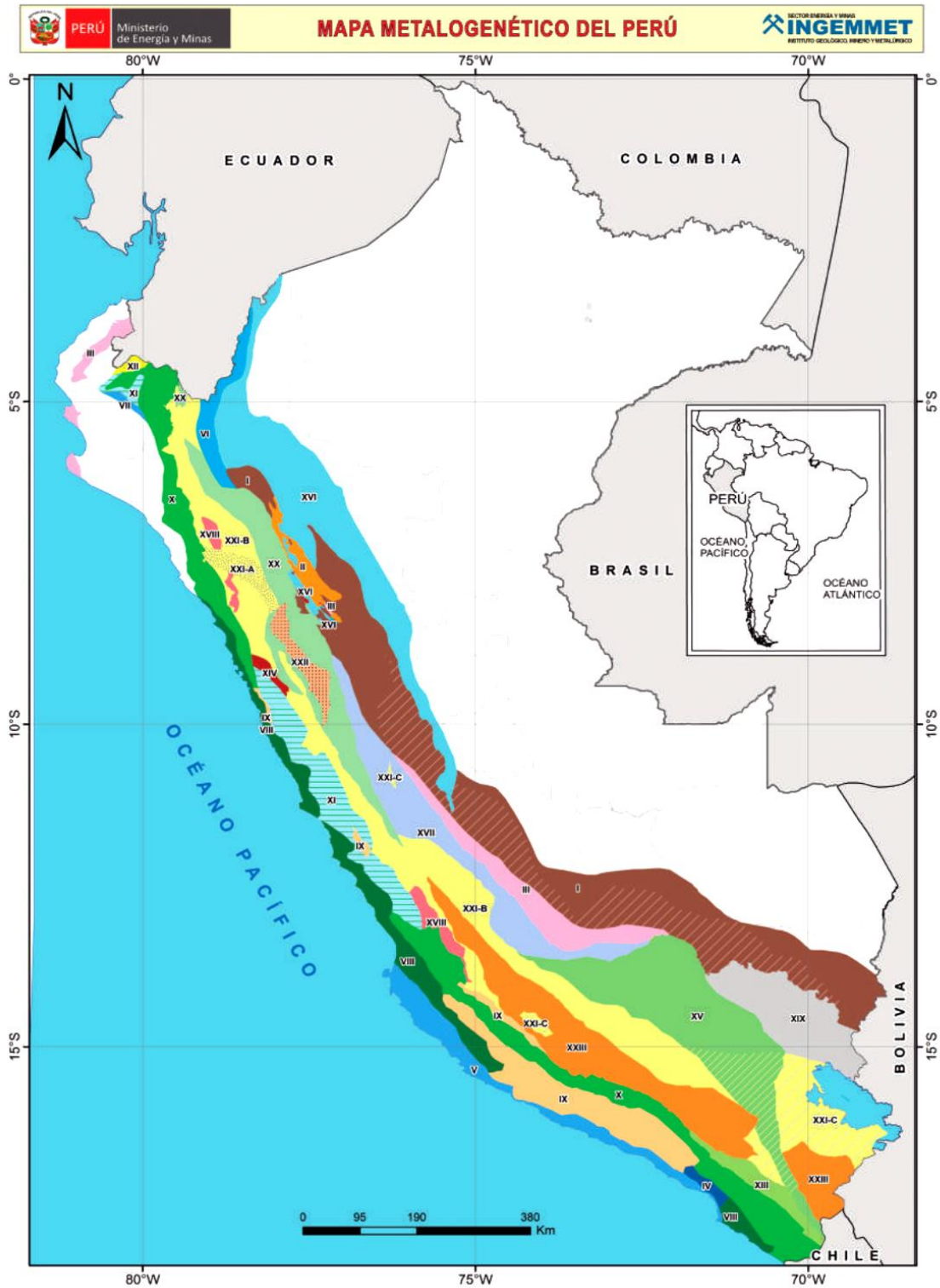
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH): Los PAH, constituyen un grupo variado de compuestos orgánicos que contienen dos o más anillos aromáticos condensados. La mayoría de los PAH llegan al medio ambiente por medio de la atmósfera procedente de procesos de combustión y pirolisis. Dada su solubilidad baja y afinidad alta por las partículas, no se suelen encontrar en el agua en concentraciones significantes. A este grupo pertenece el benzopireno, antraceno y fluoranteno.

Anexo 2. Franjas metalogénicas

Franja metalogénica	Metales
I. Franja de Au en rocas meta-sedimentarias del Ordovísico y Siluro-Devónico.	Oro.
II. Franja de depósitos orogénicos de Au-Pb-Zn-Cu del Carbonífero-Pérmico.	Oro, plomo, zinc y cobre
III. Franja de depósitos de U-W-Sn-Mo, Au-Cu-Pb-Zn relacionados con intrusivos y pórfidos skarn de Cu-Ag del Pérmico Triásico.	Uranio, wolframio, estaño, molibdeno, oro, cobre, plomo, zinc.
IV. Franja de pórfidos Cu-Mo del Jurásico-medio.	Cobre, molibdeno.
V. Franja de depósitos de Cu-Fe-Au (IOCG) del Jurásico-medio-superior.	Cobre, hierro, oro.
VI. Franja de pórfidos y skarns de Cu-Au del Jurásico superior.	Cobre. Oro.
VII. Franja de sulfuros masivos volcanogénicos de Cu-Zn-Au del Jurásico superior-Albiano.	Cobre. Zinc. Oro.
VIII. Franja de depósitos de Cu-Fe-Au (IOCG) del Cretácico Inferior.	Cobre, hierro, oro.
IX. Franja de de Au-Pb-Zn-Cu relacionados con intrusiones de Cretácico-superior.	Oro, plomo, zinc, cobre.
X. Franja de pórfidos de Cu-Mo del Cretácico superior.	Cobre, molibdeno.
XI. Franja de sulfuros masivos volcanogénicos de Pb-Zn-Cu del Cretácico superior-Paleoceno.	Plomo, zinc, cobre.
XII. Franja de epitermales de Au-Ag del Cretácico superior-Paleoceno.	Oro, plata.
XIII. Franja de pórfidos de Cu-Mo y depósitos polimetálicos relacionados con intrusiones del Paleoceno-Eoceno.	Cobre, molibdeno.
XIV. Franja de depósitos de Au-Cu-Pb-Zn relacionados con intrusiones del Eoceno.	Oro, cobre, plomo, zinc.
XV. Franja de pórfidos skarns de Cu-Mo (AU, Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados con intrusiones del Eoceno-Oligoceno.	Cobre, molibdeno, oro, zinc.
XVI. Franja de depósitos del tipo Mississippi Valley (MVT) de Pb-Zn del Eoceno-Mioceno.	Plomo, zinc.
XVII. Franja epitermales de Au-Ag del Eoceno y depósitos polimetálicos del Eoceno.Oligoceno-Mioceno.	Oro, plata.
XVIII. Franja de epitermales de Au-Ag del Oligoceno.	Oro, plata.
XIX. Franja de depósitos de Sn-Cu-W relacionados con intrusivos del Oligoceno.Mioceno y epitermales de Ag-Pb-Zn (Au).	Estaño, cobre, wolframio, plata, plomo, zinc, oro.
XX. Franja de pórfidos de Cu-Mo (Au), skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusiones del Mioceno.	Cobre, molibdeno, oro, plomo, zinc, cobre, plata.
XXI. Franja de epitermales de Au-Ag del Mioceno.	Oro, plata.
XXI-A. Epitermales de Au-Ag hospedados en rocas volcánicas.	Oro, plata.
XXI-B. Epitermales de Au-Ag hospedados en rocas sedimentarias.	Oro, plata.
XXI-C. Depósitos polimetálicos con superposición epitermal.	Oro, plata.
XXII. Franja de depósitos de W-Mo-Cu relacionados con intrusivos del Mioceno superior.	Wolframio, molibdeno, cobre.
XXIII. Franja de epitermales de Au-Ag del Mio.Plioceno.	Oro, plata.

Fuente: INGEMMET (2018).

Anexo 3. Mapa metalogénico del Perú



Fuente: INGEMMET (2018).

Anexo 4. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Decreto Supremo N°
004-2017-MINAM

Categoría 1: Poblacional y Recreacional Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₆ - C ₁₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodiorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,006	0,006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difeníl Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁴	<5x10 ⁴

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	$\Delta 3$		$\Delta 3$
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Niquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Rifinilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	μ g/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	μ g/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	μ g/L	0,004		0,7
Clordano	μ g/L	0,005		7
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	μ g/L	0,001		30
Dieldrin	μ g/L	0,5		0,5
Endosulfán	μ g/L	0,01		0,01
Endrin	μ g/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	μ g/L	0,01		0,03
Lindeno	μ g/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	μ g/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminfos	Huevo/L	1	1	**

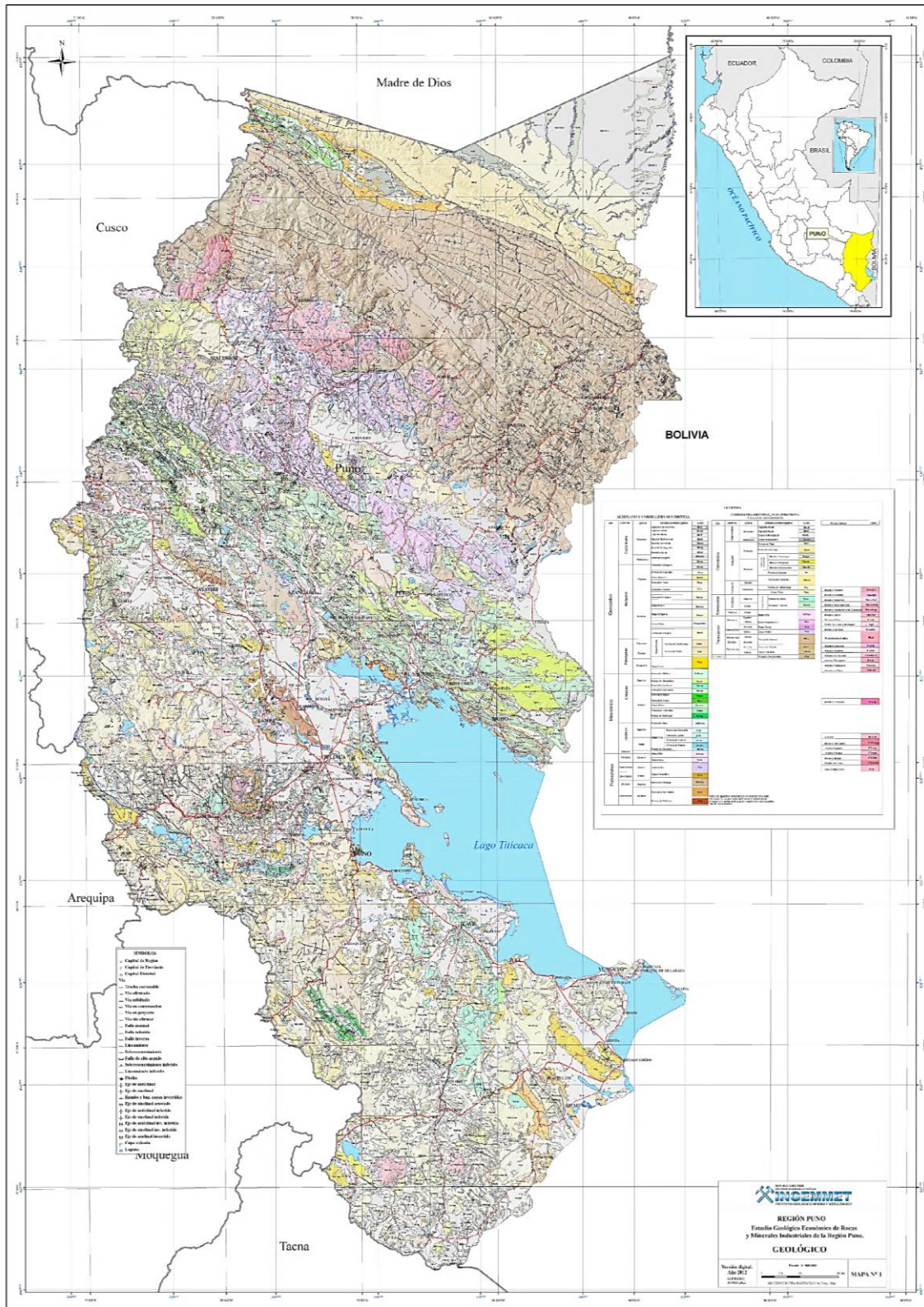
Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

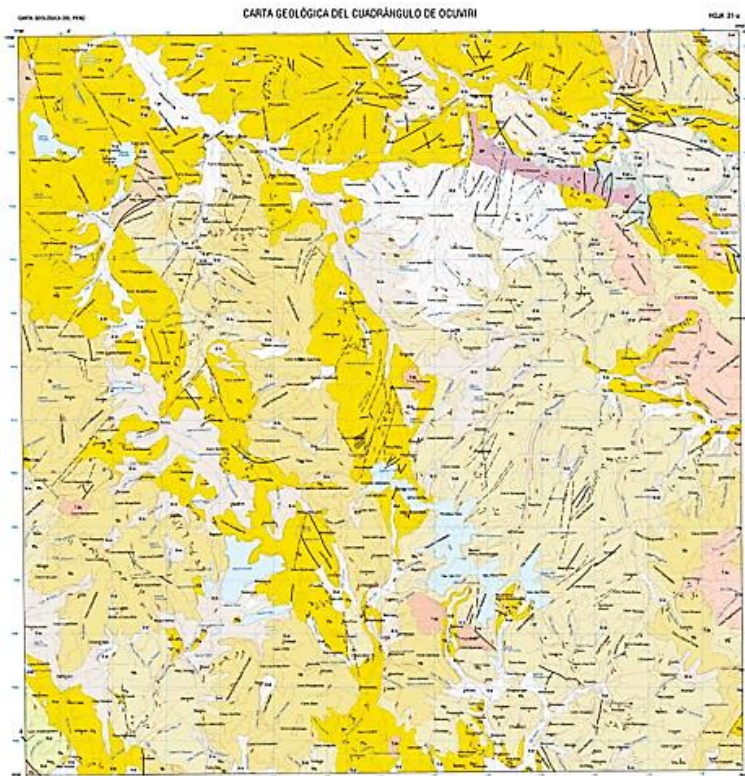


Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

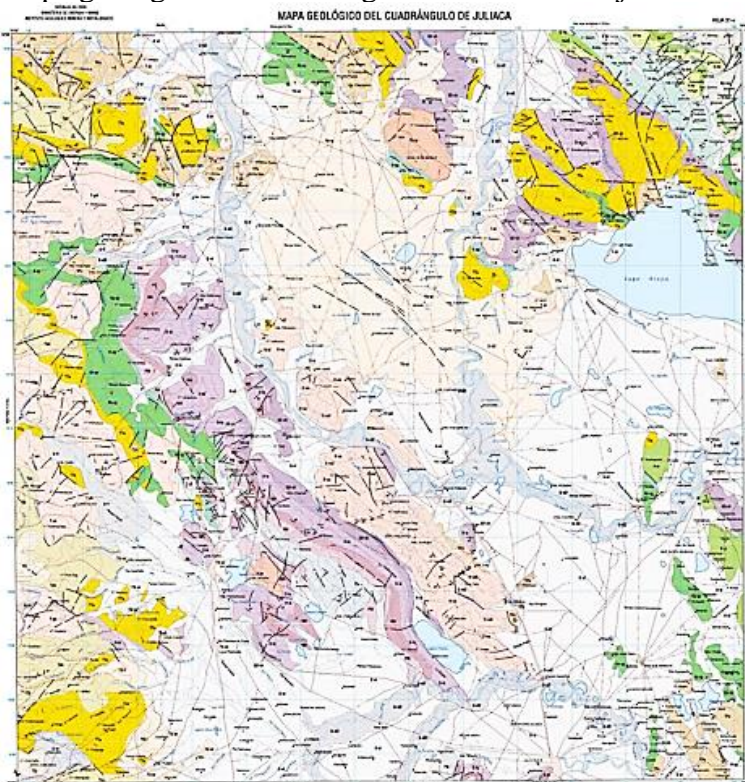
Anexo 5. Mapa geológico de la región Puno



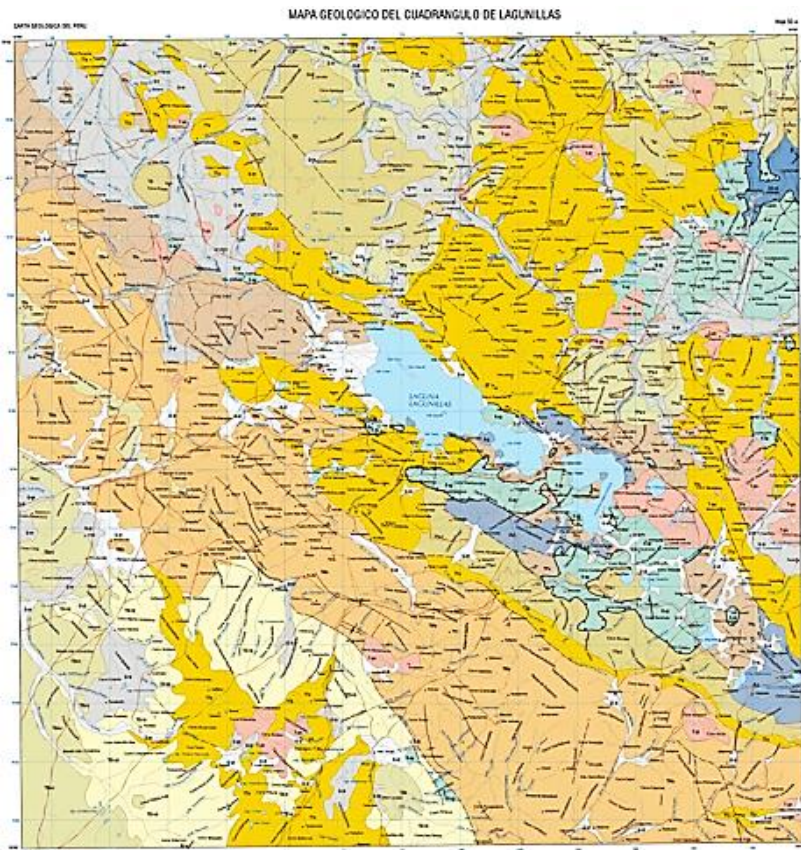
Anexo 6. Geología de los cuadrángulos de Ocuvi, Juliaca, Lagunillas, Puno y Ácora:
INGEMMET (2018) Mapa geológico integrado de proyectos.



Mapa geológico del cuadrángulo de Ocuvi. Hoja 31-u



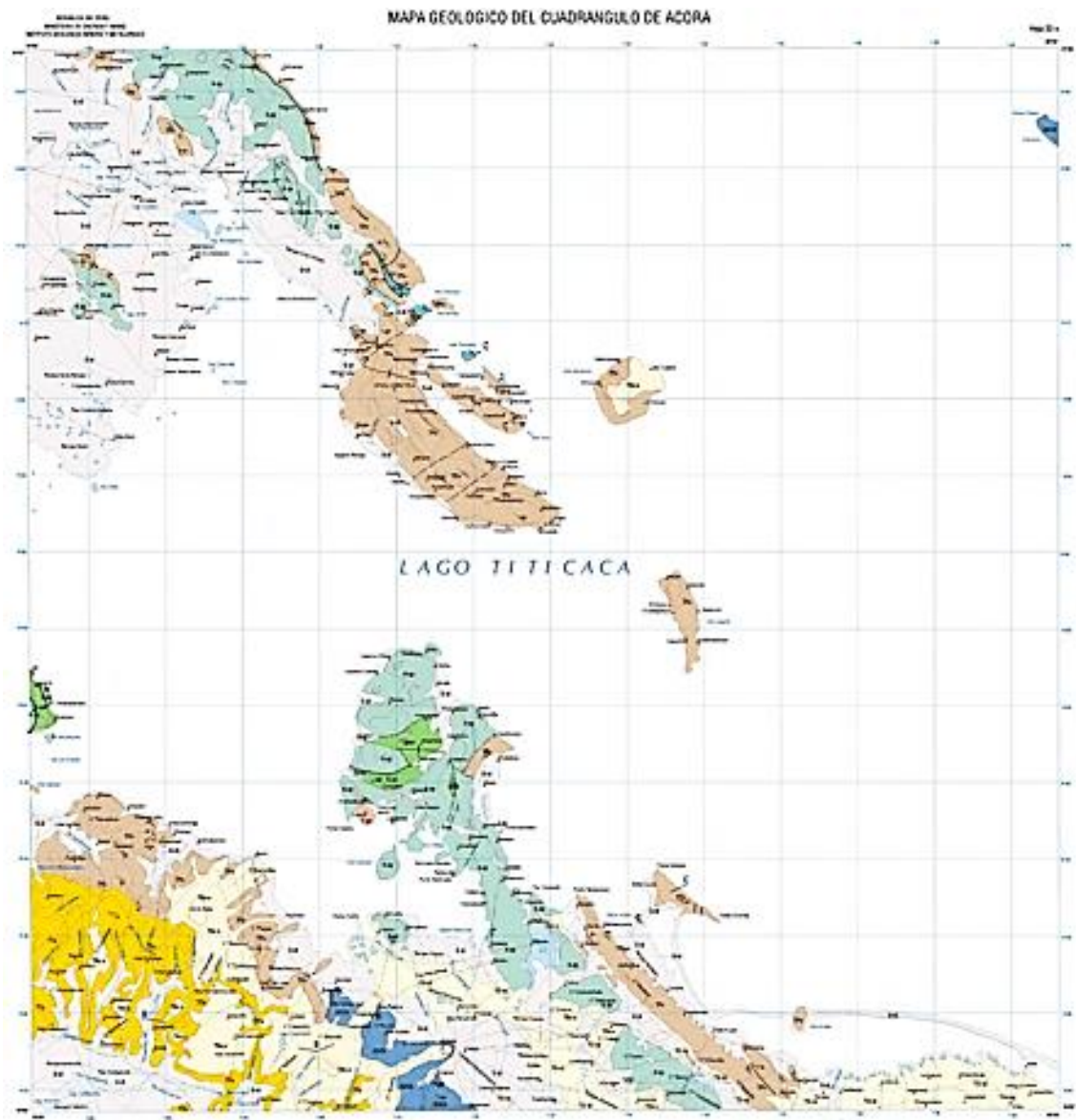
Mapa geológico del cuadrángulo de Juliaca. Hoja 31-u



Mapa geológico del cuadrángulo de Lagunillas. Hoja 32-v



Mapa geológico del cuadrángulo de Puno. Hoja 32-u



Mapa geológico del cuadrángulo de Acora. Hoja 32-x

Anexo 7. Unidades litoestratigráficas de la cuenca alta, media y baja Unidad Hidrográfica Coata

Columna estratigráfica de la Cuenca Alta Unidad Hidrográfica Coata

Era	Sistema	Época	Unidad	Símbolo	Cuenca alta: Vilavila, Palca, Pomasi, Lucía, Paratía	Unidad litológica
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito aluvial reciente	Qh-al	x	depósitos inconsolidados
			Areniscas limolitas y gravas retrabajadas	Q-al2	x	
			Depósito bofedal	Qh.bo	x	
			Depósito fluvio-glaciar	Qh-fg	x	
			Morrenas antiguas	Qpl-mo	x	
	Neógeno	Plioceno	Formación Capillune*	N-ca	x	rocas volcano- sedimentarias
			Grupo Sillapaca	Nm-si	x	
		Mioceno	Grupo Palca	Nm-pa/tbka	x	rocas volcánicas
			Grupo Tacaza: Formación Carayccasa	PN-tc	x	rocas volcano- sedimentarias
			Grupo Puno	P-pu	x	rocas sedimentarias
Paleógeno		Oligoceno				
	Paleoceno					
Mesozoico	cretáceo	Superior	Formación Ayabacas	Kis-ay	x	
		Inferior				
	Triásico					
Paleozoico	Pérmico	Superior	Grupo Mitu	PsT-mi	x	rocas volcano- sedimentarias
	Carbonífero	Inferior	Grupo Ambo	Ci-a	x	rocas sedimentarias
	Devoniano	Inferior	Grupo Cabanillas	D-ca	x	

Columna estratigráfica de la Cuenca Media Unidad Hidrográfica Coata

Era	Sistema	Época	Unidad	Símbolo	Cuenca media: Lampa, Cabanillas, Cabanilla	Unidad litológica
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito aluvial reciente	Qh-al	x	depósitos inconsolida dos
			Areniscas limolitas y gravas retrabajadas	Q-al2	x	
			Depósito bofedal	Qh.bo	x	
	Neógeno	Plioceno	Formación Azángaro	NQ-az	x	rocas sedimentari as
			Grupo Barroso	Np-ba	x	rocas volcano- sedimentari as
Mesozoico	Cretáceo	Superior	Formación Ayabacas	Kis-ay	x	rocas sedimentari as
		Inferior				
Paleozoico	Pérmico	Superior	Grupo Mitu	PsT-mi	x	rocas volcano- sedimentari as
			Grupo Iscay	Ps-is	x	
	Carbonífero	Inferior	Grupo Ambo	Ci-a	x	rocas sedimentari as
			Grupo Cabanillas	D-ca	x	
	Devoniano	Inferior	Formación Chagrapi	Sa-cha	x	
			Silúrico	Superior	Formación Calapuja	
Ordovícico	Superior					

Columna estratigráfica de la Cuenca Baja Unidad Hidrográfica Coata

Era	Sistema	Época	Unidad	Edad	Cuenca baja: Juliaca, Coata, Huata	Unidad litológica
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito aluvial reciente	Qh-al	X	Depósitos inconsolida dos
			Areniscas limolitas y gravas retrabajadas	Q-al2	X	
			Depósito bofedal	Qh.bo	X	
	Paleógeno	Oligoceno Paleoceno	Grupo puno	P-pu	X	Rocas sedimentari as
Mesozoico			Cretáceo	Superior	Formación Ayabacas	Kis-ay
	Inferior					
Paleozoico	Pérmico	Superior	Grupo Mitu	Pst-mi	X	Rocas volcano- sedimentari as

Anexo 8. Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) en las lagunas y lagos (Categoría 4-E1) de la Unidad Hidrográfica Coata 2015 al 2019

Puntos de monitoreo	LPalc					
	2015	2016	2017	2018	2019	
Parámetros a evaluar ICA-PE	ECA Cat.4-E1	2015	2016	2017	2018	2019
Oxígeno Disuelto (OD) (valor mínimo)	mg/L	0.144165	0.070664	0.070664	0.506024	0.492537
pH	Unid	8.25	8.17	8.17	8.1	7.55
Acetatos y Grasas (MEH)	mg/L	ND (<1)	<1	<1	0.9	0.9
DBO ₅	mg/L	ND (<3)	5	5	1.9	1.9
Fósforo Total	mg/L		<0.007	<0.007	0.009	6.428571
Amoníaco-N	mg/L		<0.006	<0.006	0.0059	0.0059
Nitrógeno Total	mg/L	-0.88794	0.096	0.096	0.037	0.113
Sólidos Suspendidos Totales (TSS)	mg/L		<2	<2	1.9	1.9
Clorofila A	mg/L		ND(<0.007)	0.00318	0.00445	0.05612
Arsénico (As)	mg/L		22	0.96	2.28	6.52
Cadmio (Cd)	mg/L		ND(<0.0001)	<0.00003	0.000029	2.6
Mercurio (Hg)	mg/L		ND(<0.001)	0.0023	0.12	0.8
Plomo (Pb)	mg/L		0.983333	0.61	1.328333	3.356667
Zinc (Zn)	mg/L		4.383333	0.608333	0.608333	1.605833
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L		0.983333	0.61	1.328333	3.356667
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (Benzopireno, Antraceno, Fluoranteno)	mg/L		0.983333	0.61	1.328333	3.356667
Coliformes	NMP/100ml		11	<1,8	1.79	1.79
Termotolerantes	NMP/100ml		11	<1,8	1.79	1.79
Sub Total NDQNC ECA-Agua		2	3	3	4	4
Número de parámetros que No cumplen				6		
Número Total de parámetros a Evaluar				15		
Número de datos que No cumplen el ECA				29		
Número Total de Datos (Evaluados)				117		
DATOS		0.095397	26.5275	0.678997	1.640664	4.114357
Sub Total de Excedentes				10.50269	5.498371	407.6811
SUMATORIA NORMALIZADA DE EXCEDENTES				4.117354271		
F1 = ALCANCE				40		
F2 = FRECUENCIA				24.78632479		
F3 = AMPLITUD				80.45865213		
ICA - PE				46		
				REGULAR		

Anexo 9. Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) en los ríos (Categoría 4-E2) de la Unidad Hidrográfica Coata 2015 al 2019

Puntos de monitoreo		Riacho					
Parámetros a evaluar ICA-PE	Unidad	ECA Cat.4-E2	2015	2016	2017	2018	2019
Oxígeno Disuelto (OD) (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	7.13	6.12	7.53	0.1037528	0.2562814
pH	Unid pH	6.5 - 9	8.18	8.38	8.54	8.3	8.82
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5	ND(<1)	ND(<1)	<1.0	0.99	0.09
DBOs	mg/L	10	ND(<3)	2.9	<2	1.9	2
Fósforo Total	mg/L	0.05	0.54				1.2
Amoniaco-N	mg/L						0.079
Nitrógeno Total	mg/L	**	1.04				1.775
Sólidos Suspendedos Totales (TSS)	mg/L	≤100			1.9	<2	5
Clorofila A	mg/L	**					12
Arsénico (As)	mg/L	0.15	0.119	0.121	0.10781	0.13676	0.05709
Cadmio (Cd)	mg/L	0.00025	0.000179	ND(<0,00018)	0.000009	0.000009	0.00001
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0001	ND(<0,0001)	0.00009	ND(<0,0001)	0.000029	<0,00003
Plomo (Pb)	mg/L	0.0025	ND(<0,001)	0.002	0.00019	0.00019	<0,0002
Zinc (Zn)	mg/L	0.12	0.028	0.0039	0.009	0.009	<0,01
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0.5					0.0019
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (Benzopireno, Antraceno, Fluoranteno)	mg/L						0.0019
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	2000	6.8	1.79	49	4.5	33
Sub Total NDQNC ECA.-Agua			1	0	2	1	1
Número de parámetros que No cumplen					3		
Número Total de parámetros a Evaluar					15		
Número de datos que No cumplen el ECA					8		
Número Total de Datos					101		
Datos							
Sub Total de Excedentes			0.54	0	0.1781935	0	0.1037528
SUMATORIA NORMALIZADA DE EXCEDENTES							0.025453037
F1 = ALCANCE							20
F2 = FRECUENCIA							7.920792079
F3 = AMPLITUD							2.482126011
ICA - PE							87
							BUENO

Anexo 10. Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) en los ríos (Categoría 1-A2) de la Unidad Hidrográfica Coata 2015 al 2019

Puntos de monitoreo		RC _{1A2}				
Parámetros a evaluar ICA-PE	Unidad	2015	2016	2017	2018	2019
ECA Cat. 1-A2						
Oxígeno Disuelto (OD) (valor mínimo)	mg/L	6.67	5.6	5.029	0.2373175	0.197318
pH	Unid pH	8.44	8.65	8.47	8.9	8.05
DEOs	mg/L	ND(<3)	ND(<3)	<2	<2	<2
Arsénico (As)	mg/L	0.7	1.6	1.687	1.655	1.023
Cadmio (Cd)	mg/L	0.000179	ND(<0,00018)	0.000009	0.00019	0.000009
Cobre (Cu)	mg/L	0.004	ND(<0,002)	0.00183	0.00218	0.00329
Cromo (Cr) Total	mg/L	0.0009	ND(<0,001)	0.00009	<0,0001	0.00069
Hierro (Fe)	mg/L	0.139	0.097	0.1988	0.1027	0.4654
Manganeso (Mn)	mg/L	0.04	0.029	0.06189	0.05016	0.04554
Mercurio (Hg)	mg/L	0.002	ND(<0,0001)	0.000029	<0,00003	0.000049
Plomo (Pb)	mg/L	0.002	ND(0,001)	0.0016	0.0012	0.001
Zinc (Zn)	mg/L	0.049	0.007	0.009	0.0169	0.0286
Coliformes Totales	NMP/100ml	49	220	33	223	49
Sub Total NDQNC ECA-Agua		1	1	1	2	1
Número de parámetros que No cumplen				3		
Número Total de parámetros a Evaluar				13		
Número de datos que No cumplen el ECA				13		
Número Total de Datos				113		
Datos						
Sub Total de Excedentes		0.7	1.6	1.687	1.741222	1.02
SUMATORIA NORMALIZADA DE EXCEDENTES				0.125213037		
F1 = ALCANCE				23.07692308		
F2 = FRECUENCIA				11.50442478		
F3 = AMPLITUD				11.12794049		
ICA - PE						
84						
BUENO						

Anexo 11. Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) en los ríos (Categoría 3) de la Unidad Hidrográfica Coata 2015 al 2019

Puntos de monitoreo		EToro2					
Parámetros a evaluar ICA-PE	Unidad	2015	2016	2017	2018	2019	
ECA Cat.3							
D1: Riego de Vegetales							
D2: Bebida de Animales							
Oxígeno Disuelto (OD) (valor mínimo)	mg/L	1.1505376	N.R.	0.3986014	1.222222222	0.2903266	0.3559322
pH	Unid pH	8.22	8.12	8.26	0.3569231	8.47	8.19
Conductividad	mg/L	0.004	1845	2450	0.0084	2037	2299
DBO ₅	mg/L	3.9333333	2.9333333	4.8	10.8666667	3.9333333	4.8666667
Cloruros	mg/L	0.3354	246.7	498.9	276.8	367.1	228
Aluminio (Al)	mg/L	0.116	2.59	0.049	0.048	0.19	0.075
Arsénico (As)	mg/L	0.017	0.014	0.02382	0.02264	0.0235	0.01722
Boro (B)	mg/L	0.896	0.706	0.722	0.0967	0.939	0.712
Cadmio (Cd)	mg/L	0.00179	ND(<0.00018)	0.000009	0.000001	0.000009	0.000009
Cobre (Cu)	mg/L	0.007	ND(<0.001)	0.00348	0.00964	0.00399	0.004
Hierro (Fe)	mg/L	0.092	0.158	0.1458	0.4955	0.1275	0.207
Manganeso (Mn)	mg/L	0.58	2194	0.88825	0.87435	0.88825	2
Mercurio (Hg)	mg/L	0.00009	ND(<0.0001)	0.000029	<0.00003	0.000029	0.000029
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	0.009	0.00019	0.0031	0.0005	0.001
Zinc (Zn)	mg/L	0.023	0.016	0.017	0.031	0.0238	0.02
Coliformes	NMP/100ml	38.5	10.5	2.5	10	26	84
Termotolerantes							
Huevos y larvas de Helminths	Huevo/L	1	**	0.9	<1	0.9	0.9
Sub Total NDQNC ECA-Agua		3	7	5	6	4	3
Número de parámetros que No cumplen							
Número Total de parámetros a Evaluar							
Número de datos que No cumplen el ECA							
Número Total de Datos							
Sub Total de Excedentes		45.6483333	16.5192709	8.9145437	28.7729775	39.342462	90.2236599
SUMATORIA NORMALIZADA DE EXCEDENTES							
F1 = ALCANCE							
F2 = FRECUENCIA							
F3 = AMPLITUD							
Datos							
Sub Total de Excedentes		17.63227631					
F1 = ALCANCE		52.94117647					
F2 = FRECUENCIA		27.27272727					
F3 = AMPLITUD		94.63296925					
Sub Total de Excedentes		35					
ICA - PE		MALO					

Anexo 12. Resultados de parámetros que incumplen el ECA-Agua, en monitoreos de la zona alta, media y baja de la Unidad Hidrográfica Coata 2015 - 2019

Zona	Punto	Cat	2015-Set	2016-Abr	2016-Sep	2017-Ago	2017-Dic	2018-Abr	2018-Sep	2019-Mar	2019-Sep
Cuenca alta	LPalc	4- E1	Cu, Zn	OD, Cd, Zn	OD, Zn	OD, DEO, Zn	OD, Pb, Zn	OD, Pb, Zn	OD, Pb, Zn	P Total, Cu, Pb, Zn	OD, Pb, Zn
	LSeru	4- E1	Cu, Pb, Zn	OD, Hg, Pb, Zn	OD, Zn	Pb, Zn	OD, N Total, Hg, Pb, Zn	OD, Pb, Zn	OD, Pb, Zn	N Total, Pb, Zn	OD, N Total, Hg, Pb, Zn
	LLagu	4- E1	pH (b), As	OD, CE, DBO ₅	OD, CE	CE, P Total, N Total	OD, pH (b), CE, P Total, N Total	OD, pH (b), CE, P Total, N Total	OD, pH (b), P Total, N Total	CE, N Total	OD, CE, P Total, N Total
	RParal	4- E2	Colif. Term., E. coli	pH (b), Mn	---	Cd, Mn, Zn	OD, Cd, Zn	OD, Cd, Zn	OD, Cd, Zn	Pb, Zn	OD, Cd, Zn
	RJocho	4- E2	Cloruros, As, B, Na	E. Coli	CE, As, Cloruros, B	pH (b), As, B	OD, As, B	OD, CE	OD, CE, As, Cd, Pb, Ta, Zn	Pb, Zn	OD, As, Cd, Pb, Ta, Zn
	RVerd	4- E2	Cloruros, As, Na, B	E. Coli	CE, As, Cloruros, B	As, B	OD, CE	OD, CE	OD, pH (b), Cloruros	OD, pH (b), Cloruros	OD, pH (b), Cloruros
	RVilla	3	pH (b)	pH (b), Nitratos, Mn	---	OD, pH (b), Mn	OD, pH (b), Cloruros	OD, pH (b), Cloruros	---	OD, pH (b), Cloruros	OD, MDN, Colif. Term.
	RLamp1	3	Nitratos, Mn	Colif. Term., E. coli	Mn	OD, pH (b), Mn	OD	Colif. Term., E. coli	---	OD, pH (b)	OD, pH (b)
	RLamp2	3	pH (b), Cloruros, Mn	Fe, E. coli	---	pH (b)	pH (b)	OD	pH (b)	pH (b)	OD, Cloruros, As
	RCaba2	1- A2	Cloruros	pH (b), E. coli	---	pH (b)	OD, pH (b)	OD, As	OD, As	As	As
RCoat1	1- A2	Cloruros, B	Cloruros, B	Mn	pH (b)	OD, As	OD, As	OD, As	As	As	
Cuenca media	RToro2	3	Colif Fecales, B, Na, DQO, DBO ₅ , Cloruros, AyG, fosforos, nitratos, Mn, E. coli, bicarbonatos	DBO ₅ , DQO, Mn, Colif. Term., E. coli	OD, CE, DBO ₅ , DQO, Cloruros, B, Mn, Colif. Term., E. coli	OD, AyG, DBO, DQO, Mn, Colif. Term., E. coli	OD, pH (b), AyG, DBO, DQO, Mn, Detergentes, Mn, Colif. Term., E. coli	OD, pH (b), AyG, DBO, DQO, Mn, Detergentes, Mn, Colif. Term., E. coli	OD, pH (b), AyG, DBO, DQO, Mn, Detergentes, Mn, Colif. Term., E. coli	Bicarbonato, DBO, DQO, Detergentes, Mn, Colif. Term.	OD, AyG, DBO, DQO, Detergentes, Mn, Colif. Term.
	RCoat	3	DQO, NO ₂ , B, Mn y cloruros	E. coli	OD, Cloruros, B, Mn	OD, Mn	OD	pH (b)	pH (b)	OD, Detergentes	OD, Detergentes
	RCoat2	3	NO ₂ , B, Mn y cloruros	pH (b)	B, Mn	OD, Mn	OD, Mn	pH (b)	pH (b)	---	Detergentes OD, Mn
Cuenca baja	RCoat3	3	NO ₂ , B, Mn y cloruros	---	B, Mn, Zn	Mn	OD	pH (b)	pH (b)	---	OD, pH (b)
	LCoat	4- E1	+	+	+	CE, P total, N total	OD, pH (b), CE, P total, N total	CE, P total, N total	OD, pH (b), CE, P total, N total	pH (b), CE, P total, N total	OD, C.E., P total, N total
	LCoat1	4- E1	+	+	+	CE, P total, N total	pH (b), CE, P total, N total	OD, pH (b), CE, P total, N total	OD, pH (b), CE, P total, N total	P total, N total	OD, P total, N total
	LCoat2	4- E1	+	+	+	CE	OD, pH (b), CE	OD, pH (b), CE	OD, pH (b), CE	P total, N total	OD, C.E., P total, N total
	LCoat3	4- E1	+	+	+	---	OD, pH (b), CE	OD, pH (b), CE	OD, pH (b), CE	N total	OD, C.E., N total

Anexo 13. Análisis de varianza de un factor

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Cuenca Alta	7	444	63.4285714	376.619048
Cuenca Media	3	239	79.6666667	20.3333333
Cuenca Baja	9	625	69.4444444	317.777778

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	559.923141	2	279.961571	0.92499529	0.41673112	3.63372347
Dentro de los grupos	4842.60317	16	302.662698			
Total	5402.52632	18				

Si $P > \alpha$: existe diferencia

$0,41673 > 0,05$

Si existe diferencia entre las zonas de la cuenca