

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental



TESIS

“Influencia de los niveles de metales pesados en la calidad de los recursos hídricos de la cuenca del río Santa Eulalia”

Para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental

Elaborado por

Victor Hugo Retis Landauro

 [0009-0004-5138-4398](https://orcid.org/0009-0004-5138-4398)

Asesor

Ing. Manuel Ricardo Baca Rueda

 [0009-0007-5042-1857](https://orcid.org/0009-0007-5042-1857)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Retis Landauro [1]
Referencia/Reference	[1] V. Retis Landauro, " <i>Influencia de los niveles de metales pesados en la calidad de los recursos hídricos de la cuenca del río Santa Eulalia</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Retis, 2025)
Referencia/Reference	Retis, V. (2025). <i>Influencia de los niveles de metales pesados en la calidad de los recursos hídricos de la cuenca del río Santa Eulalia</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*Dedicado a Dios, a mis padres Zósimo y Esperanza,
a mis hermanos y sobrinos; por su apoyo
incondicional y aliento continuo, que permitieron
concretar este trabajo de investigación.*

Agradecimientos

A mi asesor, el Ing. Ricardo Baca por su persistencia, disponibilidad y conocimientos académicos, que permitieron culminar esta tesis.

A la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, docentes y personal administrativo, por brindarme una formación académica de calidad y ser el pilar de mi crecimiento profesional.

A la Autoridad Nacional del Agua (ANA) por ser la inspiración para la elección de esta línea de investigación, y al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) por brindarme acceso a la información de calidad de agua.

A mi familia, en especial a mis padres Zósimo y Esperanza, a mis hermanos Nick, Jahaira y Milagros, a mi cuñado Óscar, mi sobrina Abigail, por su apoyo en la caracterización biológica, y a mi tío Moisés por su apoyo en la primera visita de campo.

A mis amigos y compañeros de trabajo, especialmente a Luis Pariona por su apoyo durante el trabajo de campo.

Resumen

El río Santa Eulalia es una fuente vital de agua para Lima Metropolitana, enfrenta graves problemas debido a la gran cantidad de fuentes contaminantes identificadas en su cuenca. Esta situación no solo afecta la calidad del agua, sino también a los ecosistemas o bienes asociados al agua, como el bofedal Milloc. La presente investigación evaluó la influencia de los metales pesados en la calidad del agua y el estado del bofedal Milloc, mediante la identificación de fuentes contaminantes y evaluación del impacto ambiental. Se aplicó una metodología integrada que incluyó trabajo de gabinete, muestreo de campo, para determinación de niveles de fondo, y análisis estadístico multivariado. Asimismo, se emplearon índices de contaminación (HPI, HEI, Cd) e índice de calidad del agua (ICARHS). Los resultados confirmaron que los pasivos ambientales mineros en la cuenca alta son la principal fuente antropogénica de metales pesados, por encima de los factores geogénicos que también aportan metales pesados. Las estaciones de monitoreo LCan1, QColl1 y RSeu1 presentaron altos niveles de contaminación por metales pesados, restringiendo su consumo directo e incluso su uso posterior al tratamiento convencional. Por otro lado, no se identificó variaciones significativas de la calidad del agua durante la temporada húmeda y seca. Además, se identificó un impacto significativo a la calidad del agua, el cual afecta negativamente a la condición de la biota y genera la alteración del paisaje del bofedal Milloc, ecosistema frágil y unas principales reservas de agua de la cuenca Santa Eulalia.

Palabras clave — Calidad del agua, metales pesados, Contaminación, ICARHS

Abstract

The Santa Eulalia River is a vital water source for Metropolitan Lima and faces serious challenges due to numerous contaminant sources identified throughout its basin. This situation affects not only water quality but also water-associated ecosystems or assets, such as the Milloc wetland. This research assessed the influence of heavy metals on water quality and the ecological condition of the Milloc wetland through the identification of contamination sources and the evaluation of environmental impacts. An integrated methodology was applied, including desk-based analysis, field sampling to determine background levels, and multivariate statistical analysis. Additionally, contamination indices (HPI, HEI, Cd) and the water quality index (ICARHS) were used. The results confirmed that mining environmental liabilities in the upper basin are the main anthropogenic source of heavy metals, surpassing geogenic contributions. The monitoring stations LCan1, QColl1, and RSeu1 recorded high levels of heavy metal contamination, restricting both direct consumption and post-treatment use. No significant differences in water quality were identified between the wet and dry seasons. Furthermore, a significant impact on water quality was observed, negatively affecting the biotic condition and altering the landscape of the Milloc wetland—an ecologically fragile system and one of the main water reserves of the Santa Eulalia basin.

Keywords — Water quality, heavy metals, pollution, ICARHS

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Capítulo I. Introducción	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	3
1.3 Justificación	5
1.3.1 Justificación teórica	5
1.3.2 Justificación metodológica.....	6
1.4 Objetivos del estudio	8
1.4.1 Objetivo general.....	8
1.4.2 Objetivos específicos.....	8
1.5 Hipótesis	8
1.5.1 Hipótesis general	8
1.5.2 Hipótesis específicas	8
1.6 Antecedentes investigativos.....	9
1.6.1 A nivel nacional.....	9
1.6.2 A nivel internacional.....	13
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	18
2.1 Marco teórico	18
2.1.1 Metales pesados: concepto y propiedades.....	18
2.1.2 Tipos de metales pesados.....	19
2.1.3 Fuentes de metales pesados	21
2.1.4 Efectos sobre los seres vivos y toxicidad.....	22
2.1.5 Contaminación del agua por metales pesados.....	25
2.1.6 Metales pesados y su relación con el uso del agua	26
2.1.7 Recursos hídricos	28

2.1.8	El agua y su calidad.....	29
2.1.9	Bienes asociados al agua.....	30
2.1.10	Usos del agua.....	31
2.1.11	Calidad del agua en función a la categorización de los cuerpos de agua	33
2.1.12	Indicadores Ambientales: Calidad del agua.....	33
2.1.13	Estándares de calidad ambiental para agua.....	35
2.1.14	Índices de Calidad del Agua.....	38
2.1.15	Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)...	38
2.1.16	Indicadores de estado de ecosistema.....	40
2.1.17	Índices de contaminación del agua	41
2.2	Marco conceptual	42
2.3	Marco legal	43
2.3.1	Ley General del Ambiente	44
2.3.2	Ley de Recursos Hídricos	44
2.3.3	Ley de pasivos ambientales de la actividad minera	44
2.3.4	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	44
2.3.5	Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales	45
2.3.6	Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos	45
2.3.7	Política y Estrategia Nacional de los Recursos Hídricos (PENRH).....	45
2.3.8	Guía para evaluación de estado del Ecosistema del Bofedal	46
Capítulo III. Metodología		47
3.1	Caracterización del área de estudio.....	47
3.1.1	Ubicación	47
3.1.3	Clima y meteorología.....	51
3.1.4	Geología.....	54
3.1.5	Geomorfología	57
3.1.6	Zonas de vida	58

3.1.7	Vegetación	59
3.1.8	Áreas naturales protegidas y ecosistemas frágiles	60
3.1.9	Identificación de fuentes contaminantes	61
3.2	Procesamiento de datos y análisis.....	62
3.2.1	Recolección y tratamiento de datos	62
3.2.2	Información disponible.....	63
3.2.3	Selección de estaciones y parámetros	63
3.2.4	Pretratamiento y análisis de datos	65
3.2.5	Análisis exploratorio de datos.....	66
3.3	Análisis estadístico de la variación estacional	67
3.4	Análisis estadístico y espacial de fuentes contaminantes	68
3.4.1	Análisis de conglomerado jerárquico (ACJ).....	68
3.4.2	Análisis de Componentes Principales (ACP).....	69
3.5	Evaluación de la contaminación por metales pesados.....	71
3.5.1	Determinación del ICARHS	72
3.6	Evaluación ambiental del estado de los ecosistemas frágiles.....	77
3.6.1	Condición del agua	77
3.6.2	Condición del suelo	77
3.6.3	Condición de la biota	78
3.6.4	Alteraciones del paisaje.....	79
3.7	Cálculos y/o aplicaciones y obtención de resultados	80
3.7.1	Procesamiento de datos y análisis estadístico	80
3.7.2	Determinación de la variabilidad temporal	84
3.7.3	Determinación de las fuentes de contaminación	86
3.7.4	Determinación del grado de contaminación.....	90
3.7.5	Evaluación ambiental del estado del bofedal Milloc	105
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados		114
4.1	Variabilidad estacional.....	114

4.2	Fuentes de contaminación de metales pesados.....	115
4.3	Influencia de los niveles de metales pesados en la calidad del agua	118
4.4	Influencia de los niveles de metales pesados en el bofedal Milloc	120
	Conclusiones	123
	Recomendaciones.....	125
	Referencias bibliográficas	127
	Anexos	139

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Ubicación de los transectos evaluados en el bofedal Milloc.	11
Tabla 2: Características de los metales pesados más importantes.....	20
Tabla 3: Principales fuentes de contaminación de metales pesados.	22
Tabla 4: Usos del agua de acuerdo con la contaminación del agua.....	27
Tabla 5: Usos del agua de acuerdo con la contaminación del agua.....	28
Tabla 6: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.....	37
Tabla 7: Parámetros morfométricos.....	49
Tabla 8: Caudales promedio mensual del río Santa Eulalia.	51
Tabla 9: Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	52
Tabla 10: Fuentes contaminantes por tipo en la cuenca del río Santa Eulalia.	61
Tabla 11: Pasivos ambientales mineros identificados en el área de estudio.	62
Tabla 12: Monitoreos realizados por la Autoridad Nacional del Agua.	63
Tabla 13: Estaciones de monitoreo en la cuenca del río Santa Eulalia.....	64
Tabla 14: Valoración del ICARHS.....	74
Tabla 15: Clasificación del HPI.	75
Tabla 16: Clasificación del HEI.	76
Tabla 17: Clasificación del Cd.....	77
Tabla 18: Factores de degradación de bofedal.	79
Tabla 19: Resumen estadístico de los resultados de calidad de agua por parámetro.....	83
Tabla 20: Prueba de normalidad por parámetro y periodo.....	84
Tabla 21: Prueba de homocedasticidad de parámetros agrupados por temporada.	85
Tabla 22: Resultados de los test estadísticos (T/U).	86
Tabla 23: Prueba de KMO y Bartlett.	86
Tabla 24: Análisis de componentes principales por método de extracción.	88
Tabla 25: Matriz de componentes rotados.	89

Tabla 26: Parámetros empleados según su categoría.....	96
Tabla 27: Determinación de subíndices.....	97
Tabla 28: Resultados del ICARHS.....	97
Tabla 29: Valores empleados para el cálculo de los índices de contaminación.....	99
Tabla 30: Resultados del HPI, HEI y Cd.....	100
Tabla 31: Análisis de correlación de los índices de contaminación	103
Tabla 32: Evaluación estadística de los índices de contaminación.	103
Tabla 33: Reclasificación de la calidad del agua.....	103
Tabla 34: Resultado de los indicadores de condición de suelo	106
Tabla 35: Resultado de los indicadores de alteración del paisaje	109
Tabla 36: Resultado de la evaluación de estado de bofedal Milloc	111
Tabla 37: Resumen de la evaluación de estado de bofedal Milloc.....	113

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Clasificación de las fuentes naturales de contaminación.	21
Figura 2: Fuentes de contaminación por metales pesados.....	23
Figura 3: Etapas del ICARHS.	39
Figura 4: Diagrama fluvial del área de estudio.	50
Figura 5: Gráfico de variación de precipitación.	53
Figura 6: Gráfico de variación de la temperatura.	53
Figura 7: Gráfico de variación de la humedad relativa.....	54
Figura 8: Gráfico de sedimentación.	87
Figura 9: Comportamiento de pH en la cuenca del río Santa Eulalia.	90
Figura 10: Comportamiento de oxígeno disuelto en la cuenca del río Santa Eulalia.	91
Figura 11: Comportamiento del DQO en la cuenca del río Santa Eulalia.....	92
Figura 12: Comportamiento de CT en la cuenca del río Santa Eulalia.....	92
Figura 13: Comportamiento del Aluminio en la cuenca del río Santa Eulalia.	93
Figura 14: Comportamiento del Arsénico en la cuenca del río Santa Eulalia.....	94
Figura 15: Comportamiento del Cadmio en la cuenca del río Santa Eulalia.	94
Figura 16: Comportamiento del Hierro en la cuenca del río Santa Eulalia.	95
Figura 17: Comportamiento del Manganeso en la cuenca del río Santa Eulalia.....	95
Figura 18: Comportamiento del Plomo en la cuenca del río Santa Eulalia.....	96
Figura 19: Resultados ICARHS en la cuenca del río Santa Eulalia.....	98
Figura 20: Resultados HPI.	100
Figura 21: Resultados de Evaluación de Metales Pesados (HEI).	101
Figura 22: Resultados del grado de contaminación (Cd).	102
Figura 23: Dendograma entre estaciones monitoreadas en el río Santa Eulalia.	104
Figura 24: Nivel de la napa freática en las unidades muestrales.....	105
Figura 25: Conductividad eléctrica en las unidades muestrales.	106
Figura 26: Riqueza de especies en las unidades muestrales.	107

Figura 27: Porcentaje de especies nativas en las unidades muestrales.	108
Figura 28: Cobertura vegetal viva en las unidades muestrales.	108
Figura 29: Biomasa aérea en las unidades muestrales.	109

Capítulo I. Parte introductoria

1.1 Generalidades

El Perú se encuentra entre los principales productores de cobre, oro, plata, hierro, plomo, zinc, estaño, molibdeno y otros minerales, tanto a nivel mundial como en América Latina, lo que refleja su riqueza de recursos y capacidad de producción en las operaciones mineras peruanas (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2023). Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en 2019 el impacto de la industria minera representó el 14,3% del PIB, del cual el 10,2% corresponde al aporte productivo directo de la minería y el 4,1% a los proveedores de la industria minera, principalmente a industrias como la del transporte, metalmecánica, textil, seguridad, construcción, energía y otras.

En nuestro país, la actividad minera ha experimentado un incremento exponencial desde mediados de la década de los 90, generando grandes beneficios macroeconómicos como el incremento del PBI, exportaciones, recaudación tributaria; no obstante, los conflictos y la contaminación ambiental son hoy en día una realidad en el área de influencia de la actividad minera, ya que las comunidades más pobres y aisladas no perciben el beneficio del boom minero (Gil, 2009).

Según Manrique y Sanborn (2021), en los últimos años los impactos ambientales que genera la minería se han convertido en uno de los principales problemas abordados por la academia. Esta afirmación toma relevancia cuando en el estudio ejecutado por Van Geen et al. (2012) se advierte que en nuestro país aproximadamente 1,6 millones de personas habitan a menos de cinco kilómetros de operaciones mineras existentes, unidades mineras en proceso de cierre e incluso pasivos ambientales mineros, estando las dos terceras partes de esta población concentrada en 29 *clúster* mineros con poblaciones superiores a los 10 000 habitantes.

Como señaló Yupari (2003), los pobladores que viven en estas zonas están expuestos a la interacción con metales pesados que se encuentran presentes en el aire, agua y/o suelo, debido a la minería ilegal e informal, los métodos antiguos de explotación,

el manejo deficiente de los desechos mineros y la falta de normas precisas que regulen las operaciones mineras, principalmente en las etapas de cierre de minas y remediación ambiental. Esto ha generado un crecimiento significativo de la cantidad de pasivos ambientales por parte de la industria minera en grandes áreas y de la afectación de los recursos naturales, cuyo uso representa una amenaza para la salud de la comunidad.

La población ha perdido la confianza en la capacidad del gobierno para aplicar las normativas de manera efectiva y sancionar a las compañías que las infringen las normas en perjuicio del medio ambiente. En vez de ver a la minería como una posibilidad de progreso, numerosas comunidades la perciben como una actividad contaminante que daña los recursos hídricos, emite sustancias que contaminan el aire y tiene impactos negativos en la salud pública, sin aportar beneficios económicos a las comunidades (Banco Mundial, 2005).

Entre los años 2003 y 2005, el gobierno implementó las reglas de juego entorno a los procedimientos de cierre de minas y la gestión de pasivos ambientales mineros. En esencia, ambos procesos implican restablecer la estabilidad química y física, recuperar la biodiversidad, minimizar los riesgos para la salud pública y, en la medida de lo posible, establecer un uso compatible con un ambiente saludable y propicio para la vida, conservando la belleza paisajística del entorno afectado (Ramírez & Valle, 2022).

A diciembre del 2023 el MEM identificó 6128 pasivos ambientales mineros (PAM) en el país, donde aproximadamente el 20% fueron catalogados con riesgos de niveles altos a muy altos. Por otro lado, se identificó que los pasivos ambientales mineros generan impactos negativos hacia los servicios ecosistémicos –los cuales son esenciales para la economía y el desarrollo de un país– y ponen en riesgo permanente su estabilidad y sustentabilidad. Además, constituyen un potencial riesgo hacia la salud pública y la propiedad (Red Muqui, 2015).

Pese a que los pasivos ambientales mineros fueron identificados hace años, a la fecha no se evidencia un gran avance en la remediación de estos o la ejecución de medidas mitigadoras. Por tanto, se requiere realizar mejoras en las metodologías de priorización de

los PAM a través de una correcta evaluación del riesgo ambiental, principalmente en aquellos pasivos ambientales que se encuentran en contacto directo con cuerpos de agua (Cervantes & Quito, 2020).

Por lo antes expuesto, los PAM constituyen fuentes de contaminación del agua por presencia metales en disolución, poniendo en riesgo latente la vida de la población que hacen uso del recurso hídrico; por ello, determinar la influencia de los metales pesados sobre los recursos hídricos empleando indicadores de calidad ambiental es importante para la estimación de riesgos ambientales y la generación de estrategias que permitan mejorar su calidad en estas zonas afectadas.

1.2 Descripción del problema de investigación

La cuenca del río Santa Eulalia tiene una gran importancia para la población de Lima Metropolitana, ya que cuenta con 336 fuentes de agua que aportan aproximadamente 53% del volumen anual disponible del río Rímac. En la cuenca alta, un grupo de lagunas represadas constituyen una oferta hídrica de aproximadamente 77 millones de metros cúbicos (MMC) de agua, a las cuales se adiciona los 205,05 MMC de agua que son trasvasadas de la cuenca del Alto Mantaro (Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, 2021). En adición, en esta cuenca se encuentran dos centrales hidroeléctricas principales (Huinco y Callahuanca) que utilizan las aguas del río Santa Eulalia, produciendo aproximadamente el 70% de electricidad que se utiliza en la capital (Bernex & Matteo, 2016).

En el 2016, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) publicó un informe de las fuentes de contaminación en la cuenca del río Rímac, encontrando 12 pasivos ambientales mineros en la parte alta del río Santa Eulalia. Cabe resaltar que, muy cerca de los pasivos ambientales, se encuentran áreas extensas de pastos altoandinos y bofedales, con centros poblados fraccionados, donde las actividades tipo pecuarias son las predominantes.

Cabe precisar que la fuente más importante de transporte e introducción metales pesados hacia el ambiente proviene de actividades antrópicas, principalmente la actividad

minera (Pabón et al., 2020). La reacción química de los compuestos sulfurados (como la pirita), provenientes de los PAM, facilita la generación de ácido sulfúrico que a posteriori posibilita el transporte y disposición de metales pesados y metaloides en los recursos hídricos (Corzo, 2015), causando un posible impacto hacia la calidad de los recursos hídricos y problemas en la salud pública.

Según Fernández (2012), la calidad del agua está definida por dos aspectos intrínsecos, ¿qué elementos contiene? y ¿en qué cantidad se encuentran?, y por un tercer aspecto extrínseco, el cual se encuentra relacionado al uso del agua, al respecto establece que el agua se usa para una variedad de propósitos y para cada uno de ellos se requiere una calidad específica. Respecto a estos aspectos intrínsecos, actualmente existe una variedad de enfoques para evaluar la calidad de los recursos hídricos, cada uno varía en su forma de cálculo y en los parámetros que se seleccionan para su desarrollo (Caho & López, 2017).

Por ese motivo, la presente investigación busca evaluar la calidad del agua y de sus bienes asociados en la cuenca del río Santa Eulalia. La afectación a la calidad de los recursos hídricos se realizará mediante el análisis de los resultados de los monitoreos realizados por la ANA con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. Asimismo, se empleará el Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS), cuya metodología fue aprobada mediante Resolución Jefatural (R.J.) N° 084-2020-ANA, y los índices de contaminación por metales pesados, desarrollados por Mohan et al. (1996), parte del *Department of Chemistry* de *Venkateswara University*, formulando una metodología que posibilite a las partes interesadas tomar decisiones correctas y así aportar en la mejora de la calidad de los recursos hídricos.

Por otro lado, la posible afectación a los bienes asociados y al agua se analizará mediante la evaluación del estado del ecosistema de bofedal Milloc, el cual es un ecosistema frágil ubicado en la cuenca alta del río Santa Eulalia, aguas abajo de los PAM, ecosistema que estaría siendo afectado por el incremento de los niveles de metales pesados. La integración de ambas evaluaciones permitirá comprender la influencia y el

comportamiento de los metales pesados sobre la calidad de los recursos hídricos de la cuenca del río Santa Eulalia, la cual es de suma importancia para determinar la posible afectación a los seres vivos y la alteración en el uso actual de este recurso.

En este sentido, se planteó la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la influencia de los niveles de metales pesados en la calidad de los recursos hídricos de la cuenca del río Santa Eulalia?

La hipótesis propuesta en el presente trabajo de investigación es: la fuente principal de aporte de metales pesados en la zona evaluada son los PAM identificados en cuenca alta del río Santa Eulalia. El mecanismo de transporte de estos contaminantes es mediante el agua que discurre de la laguna Canchis, impactada por un pasivo ambiental minero que, debido a su pH ácido, es capaz de disolver metales pesados y transpórtalos hacia otros cuerpos de agua a lo largo del río Santa Eulalia. En consecuencia, la calidad de los recursos hídricos se ven afectados por el incremento de las concentraciones de metales pesados, determinando un estado de calidad entre malo y pésimo, así como sus bienes asociados, impactando negativamente al bofedal Milloc, determinando un estado de bofedal entre pobre y muy pobre. Asimismo, la presencia de metales pesados podría afectar la salud de las personas que forman parte de la comunidad campesina Santiago de Carampoma e incluso restringir el uso actual del agua y sus bienes asociados.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

La evolución del conocimiento y tendencias a nivel global en gestión de los recursos hídricos muestra un gran avance; anteriormente solo se realizaban monitoreos periódicos de las aguas, ya que la consigna era realizar mediciones que permitan detectar anomalías en la calidad del agua. Posteriormente, a partir de la necesidad de generar información sobre temas ambientales específicos y que a su vez permitan un fácil análisis y uso de estadísticas, nacen los indicadores ambientales (Castro et al., 2014).

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OECD, 2003), los indicadores ambientales tienen dos funciones principales: la primera es de reducir el número de mediciones y parámetros que permita reflejar la realidad o situación analizada; en tanto, la segunda función es simplificar la manera de presentación de los resultados, de manera que estos sean más comprensibles por el público objetivo.

Según Valdés et al. (2011), para la valoración y evaluación de la calidad del agua se han empleado diversas metodologías; no obstante, la mayoría de los autores emplea la comparación de resultados con la normatividad vigente, a partir del cual se genera un valor cuantitativo, el cual posteriormente se convierte mediante técnicas de modelamiento en valores cualitativos.

En ese sentido, tanto el ICARHS como el ICO se han convertido en instrumentos fundamentales para transmitir información sobre la calidad del recurso hídrico a las partes interesadas. Estos índices son herramientas matemáticas para determinar la calidad del agua y pueden ser empleados para reducir grandes cantidades de información a niveles que puedan ser fácilmente analizados y comunicados.

No obstante, Lumb et al. (2011) indican que todos los índices propuestos por los distintos autores tienen limitaciones y la búsqueda de uno que refleje la realidad sigue representando un reto. Por tanto, esta investigación brinda un panorama general y a su vez específico de las variables que determinan la influencia de los metales pesados en la calidad de los recursos hídricos en la cuenca del río Santa Eulalia, lo cual aporta nuevos conocimientos relacionados al comportamiento de la calidad del agua en sectores donde se han identificado pasivos ambientales mineros, el cual permitirá determinar realmente el impacto de los metales pesados sobre los recursos hídricos.

1.3.2 Justificación metodológica

Desde los años 70 se vienen desarrollando metodologías que permitan simplificar en una expresión numérica (cuantitativa) la calidad de agua, a lo cual se denominaron “Índices de Calidad de Agua (ICA)” (Martínez de Basarán, 1976). Sobre estos índices,

Ramírez et al. (1997) menciona que empleando estas metodologías es fácil reconocer problemas de contaminación, sin tener que realizar un análisis individual de las distintas variables que reflejan la calidad del agua.

En el año 2020, la ANA publicó la “Metodología para la determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)” en territorio peruano. A diferencia de los índices desarrollados por otros autores, esta metodología depende directamente del cálculo de dos subíndices, el primero relacionado a factores orgánicos y el segundo subíndice ligado a los parámetros inorgánicos (metales), cuya calificación final se determina a partir del resultado de menor valor y/o calificación más desfavorable entre estos subíndices.

Por otro lado, Ramírez et al. (1997) señala en su investigación algunas limitaciones de los ICA, las cuales constituyen un obstáculo para su aplicación, esto debido a que el cálculo del ICA representa la calidad de un cuerpo de agua en un solo valor numérico, produciendo una gran pérdida de información; por ello, en su estudio demostraron que la aplicación de índices de contaminación (ICO) son independientes y complementarios a los ICA; por tanto, descubren problemas ambientales disímiles, y constituye el complemento ideal frente a las limitaciones de los ICA.

Por lo antes mencionado, es importante contar con una metodología que permita determinar el efecto que causan los metales pesados en la calidad de los recursos hídricos provenientes de actividades antropogénicas, de manera que permita comprender las variaciones en la calidad del agua y bienes asociados, las fuentes de contaminación y los actores involucrados, con la finalidad de establecer estrategias para mejorar la calidad de los recursos hídricos afectados.

1.4 Objetivos del estudio

1.4.1 Objetivo general

Determinar la influencia de los niveles de metales pesados en la calidad de los recursos hídricos de la cuenca del río Santa Eulalia.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la variabilidad estacional (temporada húmeda y seca) en los niveles de metales pesados en la calidad del agua de la cuenca del río Santa Eulalia.
- Determinar las principales fuentes de contaminación de metales pesados en la cuenca del río Santa Eulalia.
- Determinar la influencia de los niveles de metales pesados en la calidad del agua de la cuenca del río Santa Eulalia, mediante el ICARHS y los índices de contaminación.
- Determinar la influencia de los niveles de metales pesados en el estado de ecosistemas frágiles (bienes asociados al agua) de la cuenca del río Santa Eulalia.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La presencia de metales pesados determina una calidad de agua pésima y con una contaminación crítica para el consumo humano. La presencia de metales pesados afecta significativamente a los pobladores de la comunidad campesina Santiago de Carampoma restringiendo el uso actual del agua y sus bienes asociados.

1.5.2 Hipótesis específicas

- El efecto de la variabilidad estacional (temporada húmeda y seca) en los niveles de metales pesados en la calidad del agua de la cuenca del río Santa Eulalia no es significativa por ser una cuenca regulada.

- La principal fuente de metales pesados en los recursos hídricos de la cuenca del río Santa Eulalia son los pasivos ambientales mineros identificados en las partes altas de la cuenca.
- La calidad del agua se ve afectada significativamente por el incremento de las concentraciones de metales pesados, determinando un estado de calidad entre malo y pésimo (ICARHS) y un grado de contaminación por metales pesados entre medio y alto.
- Los niveles de metales pesados impactan negativamente a los bienes asociados al agua (bofedal Milloc), siendo un factor determinante para que el estado de bofedal se encuentre entre pobre y muy pobre.

1.6 Antecedentes investigativos

1.6.1 A nivel nacional

Corzo (2015) realizó una investigación titulada “Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Párac, distrito de San Mateo de Huanchor, Lima” con la finalidad de evaluar el impacto ambiental y social de los PAM en los recursos hídricos ubicados en la microcuenca quebrada Párac. En esta investigación se analizaron las concentraciones de metales y metaloides (As, Cd, Cu, Mn, Pb y Zn), tanto de los relaves Pacococha y Millotingo como en los ríos Aruri y Rímac.

En las muestras de relaves, realizaron ensayos como la microscopía de polarización y fluorescencia de rayos X; en tanto, la caracterización de calidad del recurso hídrico se realizó mediante análisis de espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Por otro lado, el impacto social se determinó mediante la metodología denominada “Aplicación del Enfoque Sistémico”, para lo cual realizó entrevistas en las comunidades de San José de Párac y San Antonio; por último, para un análisis integral de los resultados obtenidos, desarrolló una evaluación social multicriterio de los actores involucrados.

En los relaves Pacococha y Millotingo se determinaron la presencia de arsénico en 2140 ppm y 69 ppm respectivamente, siendo esto alarmante por la cercanía de estos relaves al río Auri y Rímac. Del análisis de calidad del agua en las estaciones de muestreo Reservorio, Rímac 1, Rímac 2, Aruri 1 y Aruri 2, solo en la estación más cercana al relave Pacococha (Aruri 1), los parámetros: arsénico, cadmio, hierro y manganeso superaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA Cat. 1-A2).

El desarrollo de la metodología de enfoque ecosistémico en las comunidades San Antonio y San José de Parácar, reveló que los pobladores de estas comunidades emplean el agua para el riego de sus cultivos de papa y alfalfa; no obstante, se identificó que existe una preocupación en las comunidades por un posible deterioro de la calidad de las aguas que emplean durante el riego de sus tierras.

De la evaluación social multicriterio realizada por Corzo (2015), se determinó que una de las causas de la afectación del recurso hídrico por pasivos ambientales mineros se debe a que el estado peruano, en el 2008, otorgó a la empresa Proemina, pequeño productor minero, la licencia para el reaprovechamiento de los relaves de Millotingo, la cual operó hasta el 2012, fecha en que comenzaron los conflictos sociales debido a una mortandad masiva de ganado. Como resultado, no se ha podido realizar trabajos de remediación porque Proemina mantiene un litigio judicializado con el estado peruano.

Valencia (2019) realizó una investigación titulada “Efectos de la extracción de turba en la composición y estructura florística del bofedal de Milloc, Carampoma, Huarochirí, Lima”, la cual en su metodología implicó una evaluación de la vegetación en el bofedal Milloc, uno de los más representativos del río Santa Eulalia, durante la época húmeda y seca del año 2016, a fin de determinar los efectos de la extracción de turba en el bofedal Milloc.

Para el desarrollo de esta metodología se establecieron tres áreas a evaluar; la primera fue denominada zona de control, y presentó una alta densidad de vegetación; la segunda se denominó zona de recuperación, donde se evidenció menor densidad de vegetación e indicios de antiguos factores de degradación; la última área se denominó zona

impactada, en la cual se evidenció extracción de turba. En estas tres áreas se ejecutaron transectos de evaluación y colección de muestras, tal como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1

Ubicación de los transectos evaluados en el bofedal Milloc.

Zona	Transecto	Inicio del transecto		Fin del transecto		Altitud
		Norte	Este	Norte	Este	
Control	Tr1	8 719 540	351 790	8 719 560	351 839	4 339
	Tr2	8 719 481	351 800	8 719 498	351 847	4 342
	Tr3	8 719 394	351 563	8 719 416	351 605	4 335
	Tr4	8 720 645	352 607	8 720 664	352 653	4 356
	Tr5	8 719 905	351 826	8 719 923	351 873	4 344
Recuperación	Tr1	8 720 560	352 433	8 720 577	352 482	4 344
	Tr2	8 720 483	352 461	8 720 503	352 508	4 341
	Tr3	8 720 393	352 416	8 720 415	352 460	4 340
	Tr4	8 720 377	352 349	8 720 391	352 400	4 339
	Tr5	8 720 423	352 351	8 720 282	352 302	4 340
Impactada	Tr1	8 720 306	352 549	8 720 326	352 596	4 344
	Tr2	8 720 281	352 401	8 720 304	352 446	4 339
	Tr3	8 720 209	352 346	8 719 923	351 873	4 339
	Tr4	8 720 151	352 391	8 720 167	352 440	4 337
	Tr5	8 719 976	352 302	8 719 998	352 346	4 335

Nota: Adaptado de Valencia (2019)

Los resultados muestran que no hubo diferencias significativas en las evaluaciones de cobertura ni de composición florística realizadas tanto en época seca y húmeda; por otro lado, la zona de control y recuperación obtuvo resultados muy similares, evidenciándose una clara diferencia con los resultados reportados en el área impactada.

En sus conclusiones resalta que la zona de impacto no se está recuperando, lo cual implica que además de la actividad de extracción de turba, existen otros factores que están impactando el bofedal, y refiere que podría deberse a los flujos de agua provenientes de la laguna impactada por PAM, ubicada aguas arriba del bofedal. Asimismo, en la zona de control el pH resultó menos ácido que en la zona de recuperación e impactada, con lo cual se podría asumir que la cobertura vegetal está controlando los niveles de pH en el suelo y el agua. Por último, una de las recomendaciones del autor fue llevar a cabo una evaluación de la calidad del agua en el área de estudio, para de esta manera corroborar si los PAM son la fuente de contaminantes de mayor impacto en esa zona.

Morán (2021) realizó una investigación titulada “Comportamiento de la concentración de metales pesados y su influencia en la calidad del agua, parte baja del río Chili, Arequipa, 2017–2019” con el objetivo de evaluar la dinámica de los metales pesados en la cuenca baja del río Chili. Para el desarrollo de la investigación, el autor empleó información de monitoreos participativos de diversas entidades estatales y privadas que se realizaron en la cuenca del río Chili, durante aproximadamente dos años y medio, entre marzo de 2017 y noviembre de 2019. En base a los resultados de estos monitoreos se determinó el Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) y el Índice General de Contaminación (OIP).

Los resultados, durante la temporada seca, muestran una calificación de "bueno" en los puntos de monitoreo evaluados, mientras que, en la temporada húmeda, las calificaciones varían entre "regular" y "excelente", según lo establecido en el ICA-PE. En tanto, el índice general de contaminación (OIP) muestra resultados de "ligeramente contaminado" a "contaminado" en la época seca y húmeda. De acuerdo con las evaluaciones realizadas por los expertos, la validación de la propuesta mostró niveles de contaminación que se sitúan entre "Ligeramente Contaminado" y "Contaminado", conforme al OIP.

De las conclusiones de esta investigación se tiene que, producto del cálculo del ICA-PE, la calidad del agua se encontró entre regular y excelente, tanto para época seca y húmeda, mientras que los OPI variaron entre ligeramente contaminado y contaminado, y este resultado fue validado mediante el método Delphi de consulta a expertos. Estas discrepancias no son abordadas por el autor; no obstante, resulta de interés establecer algún tipo de factor de corrección para que ambos índices expresen la condición real de la calidad del agua.

Alderete (2022) realizó una investigación titulada “Evaluación de la calidad de aguas superficiales en la cuenca del río Rímac mediante análisis multivariado para el período 2011-2018”, con la finalidad de identificar sus principales fuentes de contaminación y evaluar la variabilidad espacial de la calidad de agua en la cuenca del río Rímac, y determinar las correlaciones entre las variables evaluadas. Para esta investigación, se

recopiló información de 21 parámetros de calidad del agua durante un intervalo de tiempo de ocho años (2011-2018), de la red de monitoreo de calidad de agua de la cuenca establecida por la ANA. Posteriormente se aplicaron métodos estadísticos multivariados como el Análisis de Clúster Jerárquico (ACJ) y el Análisis de Componentes Principales (ACP).

Los resultados del ACJ evidenciaron que la calidad de agua en tres pares de estaciones presentó comportamientos similares, en tanto, cinco pares de estaciones mostraron características particulares, respecto a las demás estaciones evaluadas. Adicionalmente, el ACJ realizado entre los parámetros evaluados, mostró que seis pares de parámetros: Ca-Mg, DQO-DBO, SST-Fe, Mn-Sb, Cd-Zn, Mn-Mg y Sb-Mg, mostraron altos grados de correlación, estableciendo que ello podría deberse a que provendrían de las mismas fuentes contaminantes o similares condiciones; no obstante, otros parámetros mostraron bajos o nulos vínculos, lo cual significaría que provienen de otras o diferentes fuentes contaminantes.

Por otro lado, los resultados del ACP señalaron que las actividades como: minería, vertimientos (industriales y domésticos), agricultura, crianza de ganado, residuos derivados de la construcción y demolición, y los botaderos de residuos sólidos son las principales fuentes contaminantes que deterioran la calidad del agua del río Rímac. En contraste, para los ríos tributarios, las principales fuentes contaminantes son las actividades mineras, los PAM y los vertimientos domésticos. Por último, el estudio identificó al parámetro microbiológico coliformes termotolerantes (CTT) y fisicoquímicos: As, Fe, Mn, Pb y Sb como los parámetros críticos de la calidad del agua.

1.6.2 A nivel internacional

El-Hamid y Hegazy (2017) realizaron el estudio denominado “Evaluación de los índices de contaminación de la calidad del agua en los recursos hídricos subterráneos de Nuevo Damietta, Egipto” cuyo objetivo fue examinar la cantidad de metales pesados en las aguas subterráneas en Nuevo Damietta y sugerir los índices adecuados para evaluar la

calidad de las aguas subterráneas. Para evaluar la influencia de los metales pesados en la calidad del agua subterránea, el autor empleó los siguientes índices: índice de contaminación de metales pesados (HPI), índice de evaluación de metales (HEI), índice de contaminación (Cd), e índice de enriquecimiento de metales (MEI).

En general, los resultados mostraron que las concentraciones de metales pesados en las muestras de agua se encontraron dentro de los límites permitidos para agua potable establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Las concentraciones promedio de metales pesados en el agua. Las concentraciones promedio más elevadas se registraron en los parámetros cadmio, plomo, cromo, zinc y níquel; en tanto, los metales como el arsénico, mercurio y selenio no fueron detectados en ninguna de las estaciones de muestreo.

Respecto al índice de contaminación de metales pesados (HPI), en tres estaciones resultó 20,57, significativamente inferior al valor crítico de 100 para el agua potable. Por otro lado, los valores del índice de contaminación (Cd) oscilaron entre -5,1 y -0,3, lo cual significa que existe una baja contaminación. En tanto, el índice de evaluación de metales (HEI) varió de 0,001 a 0,66, también señalando una baja contaminación por metales pesados. Por último, el índice de enriquecimiento de metales (MEI) en el agua subterránea evidenció que el níquel, caso particular y aislado, tenía el valor de enriquecimiento más alto con -0,6. Los valores bajos de MI y HEI obtenidos en este estudio podría interpretarse como una ausencia de fuentes antropogénicas locales de contaminación.

En vista que no evidenciaron contaminación por metales pesados en ningún lugar muestreado, se determinó que las muestras de agua son aptas para el uso primario y uso con tratamiento convencional. Concluyendo, que los índices de contaminación del agua por metales pesados son una herramienta extremadamente útil para medir la contaminación general de las aguas subterráneas.

Reyes et al. (2016) desarrollaron la investigación titulada “Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria” con el objetivo de describir las fuentes contaminantes y los efectos en los seres vivos de la exposición e

intoxicación por metales pesados, así como la incorporación y retención de estos metales en la cadena alimenticia y otros productos de consumo directo e indirecto.

Esta investigación resalta un problema creciente de contaminación por metales pesados a nivel global, como en América Latina, con consecuencias significativas para el medio ambiente, la salud y la seguridad alimentaria. Se evidencia que en las zonas de pastoreo donde se identificaron concentraciones elevadas de metales pesados en el suelo o en agua, tanto la leche y carne de los bovinos que se alimentan en estas áreas presentan elevadas concentraciones de mercurio, arsénico, cadmio y plomo. Asimismo, se observó una afectación severa en el crecimiento de los cultivos, principalmente por el deterioro de la calidad del agua y el suelo.

Adicionalmente, señala que, aunque las concentraciones máximas permitidas de metales en agua se encuentran correctamente establecidos, faltan establecer algunos límites o estándares para estos contaminantes en el agua destinada para riego de hortalizas, legumbres y cereales. Sugiere llevar a cabo una evaluación sistemática de contaminantes en el ambiente (medio físico y biológico), con el propósito de crear mapas de concentración que respalden planes de acción para la mitigación y remediación de la contaminación por metales pesados.

Asimismo, según los autores, resulta esencial llevar a cabo estudios científicos complementarios sobre la presencia de metales pesados en el medio ambiente, lo que permitiría elaborar informes precisos y con una perspectiva futura sobre la situación de los recursos hídricos. Estos estudios pueden incidir directamente en la caracterización y manejo de las fuentes contaminantes, posibilitando que los organismos interesados tomen medidas preventivas y decisiones para mejorar la calidad y ubicación de dichas fuentes.

Ortiz et al. (2015) realizaron un estudio denominado “Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena – Tramo Tolima, Colombia” con el objetivo de determinar la concentración de metales pesados (Cd, Hg, Pb, Cr) en la calidad del agua y muestras de sedimentos recolectados en el río Magdalena durante la época seca y lluviosa. Para los fines antes mencionados, trabajaron con 4

“muestras integradas”, las cuales fueron colectadas simultáneamente en los municipios de Purificación, Flandes, Ambalema y Honda. Estos muestreos se realizaron en época de lluvias (enero) y en época de sequía o estiaje (junio).

Estos resultados se agruparon en cuatro índices; el primero fue el Índice de Calidad General de Agua (ICAG), el cual refleja de manera general la calidad del agua en un tramo de un cuerpo de agua léntico; mientras que los demás se agruparon en los siguientes índices: Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS), e Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI).

Adicionalmente, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para determinar el grado de asociación entre variables fisicoquímicas y biológicas, diferenciando las dos épocas de muestreo. El ICAG se mantuvo constante en ambas estaciones, seca y lluviosa, indicando "mala calidad", lo que significa que no es adecuada para el consumo humano. En contraste, los índices de contaminación ICOMO, ICOMI e ICOSUS mostraron una gran variación en cada época evaluada. En los municipios de Ambalema, Flandes y Honda, la calidad del agua se clasificó como de "muy alta contaminación" en ambas temporadas, mientras que en Purificación fluctuó entre "muy baja" y "baja". El ACP reveló que la calidad del agua se vio influenciada por diferentes conjuntos de parámetros en cada municipio y que estos parámetros tuvieron comportamientos diferentes durante las épocas seca y lluviosa.

En la conclusión del estudio determinaron que la temperatura, por sí sola, no es un indicador determinante de la calidad del agua; en cambio, los parámetros: sólidos totales, turbidez y nitratos, se podrían emplear como indicadores fisicoquímicos; mientras que los otros parámetros se tendrían que analizar independientemente.

Kumar et al. (2020) realizaron el estudio “Evaluación de la contaminación por metales pesados en tres diferentes cuerpos de agua en la India mediante la combinación del análisis multivariado e índices de contaminación del agua” con el objetivo de evaluar y mostrar el estado de los metales pesados en los ríos Beas y Sutlej, y en el humedal Harike,

considerado sitio Ramsar. Para ese fin, recopilaron datos de calidad de agua del periodo 2013-2017, los cuales fueron obtenidos con un espectrofotómetro de absorción atómica; estos datos se presentaron en ppb y ppm, pero por fines de compararlos con estándares internacionales, fueron convertidos en mg/l y organizados en una base de datos.

Estos datos fueron comparados con las Normas de Protección Ambiental (EPR 1986), las Directrices para Aguas Superficiales interiores de la Oficina de Normas Indias (BIS, 2012) y las Directrices para el Agua Potable de la OMS (2008); y para los análisis estadísticos de los datos recopilados, emplearon el Análisis de Componentes Principales (ACP) en los tres cuerpos de agua. El análisis estableció que los metales pesados provienen presuntamente de dos diferentes fuentes de contaminación, como las actividades pecuarias/industriales y el polvo generado producto del tráfico en las carreteras principales.

Por último, calcularon el índice de contaminación de metales pesados, también conocido como *Heavy metal Pollution Index* (HPI, por sus siglas en inglés), cuyos cálculos mostraron que el río Sutlej y el humedal Harike están críticamente contaminados con metales pesados, siendo estos resultados similares a otros estudios de HPI realizados en la India. Concluyen señalando que los niveles de Pb, Cu y Cr para los ríos Beas y Sutlej, y el humedal Harike se encontraron por encima de los máximos valores permitidos de la norma BIS 2012; de manera similar, se encontraron niveles de Pb y Cr, en los tres cuerpos de agua, por encima de los estándares de comparación de la OMS 2008. La aplicación de los índices de contaminación demostró que el humedal Harike y el río Sutlej están críticamente contaminados y que se necesitan medidas para reducir el contenido de metales en el agua para la protección de los recursos hídricos y su futura restauración.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 Metales pesados: concepto y propiedades

Según Lucho et al. (2005), los metales pesados son todos aquellos elementos químicos metálicos que poseen una alta densidad relativa y son venenosos o tóxicos incluso en concentraciones muy bajas. Similar a lo antes citado, Londoño et al. (2016) indicó que, de acuerdo con la tabla periódica, se denominan metales pesados aquellos elementos químicos de alta densidad (superior a 4 g/cm^3), con un peso atómico y masa mayor a 20, y que resultan tóxicos en concentraciones bajas. Entre ellos se encuentran el aluminio (Al), cadmio (Cd), arsénico (As), hierro (Fe), berilio (Be), cobre (Cu), manganeso (Mn), mercurio (Hg), plomo (Pb) y talio (Tl), entre otros.

Por otro lado, según un enfoque netamente químico, García et al. (2002) indican que los metales pesados son aquellos elementos químicos (metales) que tienen un peso específico superior a 5 g/cm^3 o un peso atómico por encima de 20. Asimismo, de forma práctica definieron a los metales pesados como elementos metálicos considerados contaminantes ambientales debido a sus efectos tóxicos y su persistencia en el medio ambiente.

Adicionalmente, Copaja et al. (2016) indicaron que estos contaminantes no son biodegradables, es decir, no se eliminan de los ecosistemas de manera natural. Estos son de gran importancia como indicadores del estado de los cuerpos de agua, debido a su persistencia, toxicidad y comportamiento bioacumulativo. Además, indicaron que estos metales ingresan al ciclo del agua desde diversas fuentes, donde las más significativas son las de origen geogénico o natural. Actualmente, las actividades antrópicas, como la actividad minera, la industria, la agricultura, y subprocesos de estos como la generación de residuos sólidos, son los que aportan la mayor cantidad de metales pesados al medio ambiente.

Los metales pesados son considerados algunos de los elementos más contaminantes y peligrosos del planeta debido a su no biodegradabilidad y su alto potencial de bioacumulación en los seres vivos. En su mayoría son elementos de densidades muy altas, que se encuentran en pequeñas concentraciones; sin embargo, producen un efecto negativo importante a la salud humana y al medio ambiente. Los metales pesados más tóxicos y abundantes son el Mercurio (Hg), el Cadmio (Cd) y el Plomo (Pb) (Orozco et al., 2011).

Como se ha mencionado anteriormente, los metales pesados no son biodegradables, por lo que no se degradan ni química ni biológicamente. Estos compuestos pueden transformarse, pero los elementos contaminantes persisten y pueden resultar siendo más tóxicos que los compuestos iniciales. Los metales pueden encontrarse en iones disueltos en el agua o formando compuestos sólidos en suspensión, esto dependerá de condiciones como la presión, temperatura y fuerza iónica (Orozco et al., 2011).

Según Londoño et al. (2016), cuando los metales pesados entran en contacto con el ecosistema y las cadenas tróficas pueden causar daños irreparables tanto a los seres humanos como a los animales, efectos tan graves durante el embarazo, cáncer y poder causar la muerte. Asimismo, mencionan que las concentraciones elevadas de estos metales en el organismo pueden alterar los procesos bioquímicos y fisiológicos, causando diversas enfermedades.

No obstante, pequeñas trazas de ciertos metales pesados, como el selenio (Se), cobre (Cu), zinc (Zn), son esenciales para el metabolismo adecuado en los seres vivos, especialmente en los humanos. No obstante, la incorporación de una alta concentración de los metales antes mencionados al organismo podría conducir al envenenamiento.

2.1.2 Tipos de metales pesados

Bautista (1999), menciona que algunas personas interpretan al término metal pesado como elemento tóxico, pero esa afirmación es incorrecta, ya que no todos los metales pesados son tóxicos y no todos los elementos tóxicos son metales pesados. Por

otro lado, aclara los términos metales vestigios, elementos esenciales y metales pesados; los metales vestigios son aquellos elementos metálicos presentes en concentraciones menores a 1 mol/m³ en la solución del suelo o inferiores a 100 mg/kg en la fase sólida del suelo, incluyendo los metales de la clase B de la tabla periódica. No todos son necesariamente peligrosos, ya que algunos son esenciales para vegetales y/o animales.

En contraste, los elementos esenciales son vitales para la vida de las plantas, pero su esencialidad puede variar entre diferentes organismos. Cabe indicar que el término metal pesado se refiere a metales con una densidad igual o mayor a 6 g/cm³. En la Tabla 2 se presenta un listado de los metales pesados que son considerados esenciales y/o contaminantes.

Tabla 2

Características de los metales pesados más importantes.

Metales	Densidad (g/cm³)	Esencial	Contaminante
Plata (Ag)	10,5		✓
Oro (Au)	19,3		
Bismuto (Bi)	9,8		✓
Cadmio (Cd)	8,7		✓
Cromo (Cr)	7,2	✓	✓
Cobalto (Co)	8,9	✓	✓
Cobre (Cu)	8,9	✓	✓
Fierro (Fe)	7,9	✓	✓
Mercurio (Hg)	13,6		✓
Lantano (La)	6,2		✓
Manganeso (Mn)	7,4	✓	
Plomo (Pb)	11,3		✓
Molibdeno (Mo)	10,2	✓	✓
Níquel (Ni)	8,9	✓	✓
Plutonio (Pt)	21,5		
Talio (Tl)	11,9		✓
Torio (Th)	11,5		✓
Estaño (Sn)	7,3	✓	✓
Uranio (U)	19,1		✓
Vanadio (V)	6,1	✓	
Wolframio (W)	19,3	✓	✓
Zinc (Zn)	7,1	✓	✓
Circonio (Zr)	6,5		✓

Nota: Adaptado de Davis (1980)

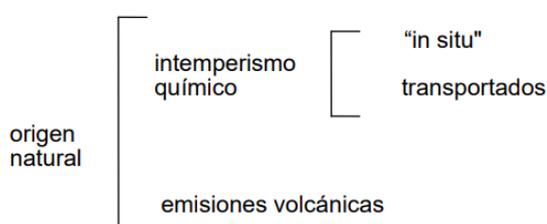
Para Ladrón de Guevara y Moya (1995), los metales pesados están presentes en el medio ambiente como oligoelementos o micronutrientes, los cuales en pequeñas cantidades o trazas son necesarios para complementar el ciclo de vida de la flora y fauna, dentro de este grupo están los metales como: B, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se y Mo. Por otro lado, se encuentran los metales pesados que no cumplen funciones biológicas, los cuales presentan altos grados de toxicidad y tienden a acumularse en los organismos vivos, entre estos metales se encuentran: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi. La capacidad tóxica de dichos elementos se debe a su capacidad de combinarse a una gran variedad de moléculas orgánicas.

2.1.3 Fuentes de metales pesados

De acuerdo con Bautista (1999), los metales pesados provienen de dos fuentes principales: naturales y antrópicas. Respecto a las fuentes naturales, es posible realizar una subdivisión basada en su origen, ya sea como resultado del intemperismo químico o por emisiones volcánicas, tal como se observa en la Figura 1.

Figura 1

Clasificación de las fuentes naturales de contaminación.



Nota: Adaptado de Bautista (1999).

Por otro lado, se encuentran los metales de origen antrópico, las cuales se clasifican en puntuales (fijas) y no puntuales (móviles). Dentro de las fuentes puntuales se encuentran las industrias, las carreteras, entre otras. En tanto, como fuentes no puntuales o móviles tenemos: los desechos, los fertilizantes, las cenizas y humos, las cuales son ocasionalmente transportadas por el viento (Bautista, 1999).

Según Londoño et al. (2016), los metales pesados están presentes en concentraciones que normalmente no representan un peligro hacia los seres vivos que se

encuentran en el entorno natural. Aunque estos elementos no pueden ser degradados o destruidos, los factores físicos y químicos pueden transformarlos. La forma más común es disolviéndoles y formando compuestos ácidos junto a otros metales. Otros metales pesados forman complejos solubles, se transportan a través de los cuerpos de agua y se dispersan en los ecosistemas, uniéndose a la cadena trófica que abarca suelo, agua, plantas y otros, especialmente en los ecosistemas que se encuentran en las áreas adyacentes a las áreas contaminadas. A continuación, en la Tabla 3 se listan algunas posibles fuentes de contaminación de metales pesados.

Tabla 3

Principales fuentes de contaminación de metales pesados.

Metales	Fuentes de contaminación
Cadmio (Cd)	Minerías, industrias electrónicas, fundiciones, fabricación de metales (aleaciones), plásticos, pigmentos, pilas y procesos de refinación.
Cromo (Cr)	Minería, proceso de galvanoplastia, fabricación de colorantes y pigmentos, producción de aceros y aleaciones, y producción de conservantes de la madera.
Mercurio (Hg)	Minería, Producción de cloro soda caustica, policloruro de vinilo, espuma de poliuretano.
Níquel (Ni)	Minería, industria del acero, fabricación de baterías y en la producción de algunas aleaciones.
Zinc (Zn)	Minería, proceso de galvanizado, fabricación de acero y otras aleaciones, fabricación de baterías y pigmentos.

Nota: Adaptado de Tejada et al. (2015).

2.1.4 Efectos sobre los seres vivos y toxicidad

Tal como se mencionó anteriormente, la presencia de metales en el medio ambiente se encuentra de dos maneras: natural y antropogénica; y se movilizan entre los distintos componentes ambientales (agua, suelo y aire) a través de procesos físicos y químicos.

Los efectos tóxicos de los metales pesados dependen en gran parte del tipo de metal, su concentración y, en algunos casos, de la edad de la población que se encuentra expuesta. Investigaciones afirman que en aquellos alimentos, como la carne y leche, contaminados por metales pesados, los cuatro metales más importantes para evaluación y monitoreo son: mercurio, plomo, cadmio y arsénico, debido a su impacto en la salud y su

alto grado de toxicidad. En la Figura 2 se proporciona una representación visual de la fuente de contaminación y cómo estos metales pesados se incorporan en la cadena trófica.

Figura 2

Fuentes de contaminación por metales pesados.



Nota: La infografía muestra las principales fuentes de metales pesados, por Reyes et al. (2016)

De los cuatro metales pesados mencionados, el cadmio es el elemento que más tiende a acumularse en las plantas, lo que hace que las plantas se consideren posibles candidatos para llevar a cabo tareas de fitorremediación de cadmio; no obstante, el cadmio afecta la membrana de las plantas y provoca desequilibrios severos en sus procesos fisiológicos, principalmente la fase de nutrición; asimismo, afecta la absorción de agua, causando estrés hídrico en la planta (Singh & Tewari, 2003). En cuanto al plomo, tiende a acumularse con el tiempo; para ello se distribuye en distintos órganos, tejidos, huesos y dientes, y la intoxicación por este metal se manifiesta de distinta manera de acuerdo con la edad y al grado de exposición del individuo; sin embargo, la vida media del plomo en los huesos es de 5 a 19 años, cuyos efectos a futuro incluyen dificultades en el desarrollo óseo y problemas en el crecimiento fetal y neonatal (Sanín et al., 1998).

En lo que respecta al mercurio, su toxicidad está directamente relacionada con la fase química en la que se encuentra en el ambiente, siendo el metilmercurio una forma

altamente tóxica, la cual se incorpora fácilmente en la cadena trófica. El mercurio daña principalmente al sistema nervioso, provocando daños en el cerebro fetal, además de provocar enfermedades cardiovasculares, y con potencial carcinógeno (Pabón et al., 2020). Finalmente, para el caso del arsénico, este metal ingresa al cuerpo humano por vía cutánea, digestiva y respiratoria; la intoxicación crónica por arsénico ocasiona una serie de problemas de salud, como respiratorios, digestivos, neurológicos, cardiovasculares y cancerígenos (Morán et al., 2011).

Adicionalmente a los cuatro elementos mencionados, el cobre, cobalto y el manganeso pueden causar serios problemas de salud en los seres humanos, intoxicación crónica y aguda, incluyendo patologías a nivel del sistema nervioso y pérdida de funciones sensoriales (Wang et al., 2017). Asimismo, la exposición de los seres vivos a cromo y níquel representa un problema significativo, especialmente para aquellos que viven cerca de áreas donde se encuentran concentraciones altas de estos metales y no existen controles ambientales eficientes. La exposición a concentraciones altas de cromo ocasiona inflamación cutánea, daño en los órganos como el hígado y los riñones, congestión pulmonar, vómitos, así como la posible formación de úlceras. Por otro lado, los efectos del níquel incluyen enfermedades respiratorias, náuseas, diarrea, erupciones en la piel, malestar gastrointestinal y edema renal, entre otros síntomas y enfermedades (Carolin et al., 2017).

En el caso de las plantas, aunque algunos metales se denominan esenciales, y otros, aunque no son esenciales, resultan beneficiosos para su desarrollo (Se, V, Cr³⁺, Ti y Co), es importante considerar que la actividad humana libera cantidades significativas de metales pesados al ambiente, como el mercurio, aluminio, plomo, entre otros; los cuales resultan particularmente tóxico para las plantas, afectando el crecimiento e inhibiendo el desarrollo de raíces; asimismo, algunos metales conllevan otros posibles daños al ambiente y a la salud al integrarse en la cadena trófica.

2.1.5 Contaminación del agua por metales pesados

Según Ortiz (2005) gran parte de los temas relacionados a la contaminación y problemas ambientales han sido abordados después de la Conferencia de las Naciones Unidas (1972), fecha que es considerada como un hito en el desarrollo de la política ambiental moderna en el mundo. Asimismo, los recursos naturales fueron considerados el pilar esencial del desarrollo social y económico en el largo plazo; considerando además que el desarrollo está condicionado a la cantidad, variedad y calidad de los recursos naturales disponibles.

En adición, Andaluz (2016) señala que la contaminación ambiental se genera cuando las actividades antrópicas introducen agentes fisicoquímicos, biológicos o una combinación de estos en el ambiente. Estas sustancias, en cantidades que exceden los límites permitidos o que están presentes por periodos largos, alteran las características primigenias del medio receptor (agua, suelo, aire), siendo esta situación perjudicial y/o nociva para los seres humanos, los ecosistemas y los componentes ambientales.

Las principales causas de contaminación del agua por metales pesados se atribuyen a los vertimientos informales o emisiones de polvo generadas por diversas actividades humanas, especialmente por la minería y la industria. Día tras día, la contaminación de las fuentes de agua viene en aumento debido al constante crecimiento de las actividades antes señaladas, lo que resulta en un aumento de las cantidades de metales en los cuerpos de agua. Este incremento de metales representa un riesgo creciente para los seres vivos, ya que se incrementa la probabilidad de exposición a los mismos (Pabón et al., 2020).

De acuerdo con lo señalado anteriormente, mayormente los metales se encuentran formando componentes estables; por tanto, requieren de una transformación química para ingresar al agua. Este mecanismo de transporte de los metales pesados hacia los recursos hídricos está asociado con su composición geoquímica, el material estéril almacenado en los botaderos y los desechos mineros dispuestos en las presas de relaves, los cuales, en

conjunto con el agua intersticial, desencadenan procesos que modifican la cantidad y calidad de los drenajes (Li, 2013).

La generación de aguas ácidas altera la composición de estos drenajes, disminuye el potencial de hidrógeno del agua y posibilita la disolución de elementos metálicos presentes en el agua o sedimentos; si bien las propiedades físico-químicas y/o biológicas de los residuos mineros influyen en la solubilidad y migración de los metales al ambiente, son los factores químicos los que controlan la movilización de los metales disueltos, mientras que los factores físicos y biológicos afectan los procesos a lo largo del camino de migración de metales. Es decir, aunque las propiedades químicas predominan en el transporte de los metales, las propiedades físicas y biológicas son las más importantes en cuanto a la velocidad del transporte del drenaje ácido y las reacciones que podrían darse a lo largo de su curso (Li, 2013).

2.1.6 Metales pesados y su relación con el uso del agua

Las alteraciones humanas en diversos elementos del entorno, que realiza el hombre con el fin de satisfacer necesidades, a menudo generan subproductos con impactos negativos sobre los recursos naturales. La dependencia continua de la calidad de los recursos hídricos para diversos usos, a veces conflictivos, requiere de planes de gestión que establezcan los usos óptimos del agua, los criterios ambientales asociados y las normativas para emisiones y efluentes. Con la industrialización y el aumento demográfico, las demandas y los estándares de calidad del agua han evolucionado, abarcando desde el consumo humano y la higiene personal hasta la generación de energía nuclear (Sierra, 2011).

En la Tabla 4 se presenta la compatibilidad del uso del agua respecto a los contaminantes presentes en los cuerpos de agua.

Tabla 4*Usos del agua de acuerdo con la contaminación del agua.*

Contaminante	Agua Potable	Vida acuática	Recreación	Riego	Uso Industrial	Energía y enfriamiento	Transporte
Materia orgánica	X	x	X	+	X	x	NA
SST	X	X	X	x	x	x	X
Nitratos	X	x	(-)	+	X	(-)	(-)
Sales	X	X	(-)	X	X	(-)	(-)
Metales pesados	X	X	x	x	¿	(-)	(-)
Acidificación	x	XX	x	¿	x	x	(-)
Algas	x	x	X	+	X	(-)	x
Patógenos	X	0	X	x	X	(-)	(-)

Nota: Levemente afectado (x); altamente afectado (X); sin afectación (-); no aplica (NA); benéfico (+); no entendidos (¿). Adaptado de Sierra (2011).

De la tabla anterior se puede inferir que los metales pesados causan alguna afectación a los distintos usos de agua, como el agua potable, vida acuática, recreación y riego; en tanto, no se conoce que puedan causar afectaciones al uso industrial; por otro lado, no se identificó ninguna repercusión sobre las actividades relacionadas a la energía y el transporte. En consecuencia, Sierra (2011) propuso criterios de calidad recomendados de acuerdo con los usos potencialmente afectados, indicando que cada caso es particular y debe ser sujeto a evaluación de manera que estos criterios sean realistas y reflejen la realidad del ambiente.

Por otro lado, Torres et al. (2009) realizaron un análisis de los índices de calidad de agua y su influencia sobre el uso del agua, lo cual permite clasificar al recurso hídrico a partir de rangos preestablecidos según los usos potenciales del recurso. Las escalas de clasificación son tan relevantes como el propio cálculo del índice, ya que aquí es donde el resultado se transforma en una expresión numérica que determina la calidad final del agua y repercute directamente en el uso del agua.

En la Tabla 5 se muestran las escalas de clasificación para los más importantes índices de calidad del agua. La clasificación de cada escala generalmente indica el nivel de calidad de la fuente y establece los usos apropiados para el recurso según el resultado obtenido en cada índice de calidad del agua.

Tabla 5*Usos del agua de acuerdo con la contaminación del agua.*

Código	ICA NSF	DWQI	ICA Dinius	ISQA	UWQI
1	Muy mala calidad	Pobre	Inaceptable su consumo	No puede usarse	Pobre
2	Mala calidad	Marginal	Dudoso para consumo	Recreación y refrigeración	Marginal
3	Mediana calidad	Regular	Potabilización necesaria	Consumo humano con tratamiento especial, riego, industrial	Regular
4	Buena calidad	Buena	Dudoso consumo sin tratamiento	Consumo humano con tratamiento convencionales	Buena
5	Excelente calidad	Excelente	Tratamiento menor requerido	Todos los usos	Excelente
6	-	-	No requiere tratamiento para consumo	-	-

Nota: Adaptado de Torres et al. (2009)

2.1.7 Recursos hídricos

Los recursos hídricos se encuentran distribuidos de forma desigual tanto en el espacio como en el tiempo, lo cual se refleja en la existencia de territorios con carencia o deficiencia de agua debido a su escasez física, relacionado a una condición natural, como a la inexistencia de infraestructuras hidráulicas, asociado a la ejecución de políticas sobre recursos hídricos en un territorio, que permita cubrir las demandas de la población (Fundación Canal, 2006).

A nivel mundial, el volumen total de agua es de aproximadamente 1 385,98 millones de km³, de los cuales el 97,9% –aproximadamente 1 350,96 millones de km³– es agua salada. Del volumen restante, solo una fracción muy pequeña, menos del 0,01% (104,59 km³) puede ser utilizada directamente por el ser humano para satisfacer sus necesidades vitales y sus actividades productivas (Fundación Canal, 2006).

En términos generales, los recursos hídricos se refieren al agua y a los bienes asociados que pueden ser aprovechados por el ser humano, lo cual les confiere un valor actual o potencial. Según la Autoridad Nacional del Agua (2016), el agua forma parte del patrimonio de la Nación y es un bien de naturaleza pública, que debe ser utilizado en armonía y con respeto al bien común; además, su uso debe integrar valores económicos, culturales, políticos, sociales y ambientales.

En ese contexto, con el fin de evitar y controlar la contaminación, la ANA, el OEFA e instituciones competentes deben monitorear, supervisar y fiscalizar en forma permanente las obligaciones y los compromisos asumidos en los IGA e instrumentos correctivos para actividades en cursos, a nivel local, regional y nacional; teniendo en consideración los lineamientos establecidos en las políticas relacionadas a los recursos hídricos, con el fin de proteger su calidad, cantidad y oportunidad; asimismo, fomentar la cultura del agua y fortalecer la adaptación del cambio climático y eventos extremos, con el fin de proteger y conservar los recursos hídricos y bienes asociados. En el caso de los pasivos ambientales mineros existentes que afectan la calidad del agua, se debe priorizar a través de Activos Mineros, instituciones del estado, cooperación internacional o empresas amigables con el medio ambiente, su remediación ambiental y recuperación, con fines de su conservación y protección.

2.1.8 El agua y su calidad

“El Medio Ambiente, es el entorno vital; el conjunto de factores físico-naturales, (Conesa, 2010, p. 62) sociales, culturales, económicos y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en la que vive, determinando su forma, carácter, relación y supervivencia”.

Otro punto de vista señala que el ambiente está formado por subsistemas que, a su vez, se dividen en componentes ambientales. Estos componentes pueden considerarse como el conjunto de factores ambientales con características similares (Conesa, 2010). En concordancia con esto, Arboleda (2008) sostiene que la definición de ambiente es muy amplia y compleja, por lo que es necesario desglosarlo en medios, sistemas, componentes y factores ambientales. Este desglose facilita la comprensión de las diferentes interacciones que existen entre los factores ambientales.

Por otro lado, la calidad ambiental es un aspecto intrínseco del ecosistema y podría definirse como: “El estado físico, biológico y ecológico de un área o zona determinada de la biosfera, en términos relativos a su unidad y a la salud presente y futura del hombre y

las demás especies animales y vegetales” (Conesa, 2010, p. 65). No obstante, este concepto se utiliza al describir la conservación de un factor ambiental, esto permite hablar de una calidad ambiental mala o buena.

Además, existen conceptos que describen a la calidad ambiental el estado de equilibrio natural, la cual refleja el conjunto de procesos físicos, geoquímicos y biológicos, en conjunto con sus interrelaciones que ocurren a lo largo del tiempo en un espacio geográfico. La calidad del ambiente puede ser afectada de manera positiva o negativa por actividad antrópica, lo que pone en riesgo la vida de las personas y la dinámica natural del ambiente (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012).

Realizar una constante evaluación de la calidad del agua son mecanismos cruciales en un estado moderno. En la actualidad hay diversos mecanismos para evaluar la calidad de agua como una metodología que califica la calidad de los recursos hídricos; independientemente de ello, la evaluación de la calidad de estos recursos está directamente relacionada con el uso del agua y la dinámica que esta establece (Kiely, 1999).

Según García (2004), la calidad de los recursos hídricos se refiere a las condiciones o estado en que se encuentra el recurso en términos de sus aspectos fisicoquímicos y biológicos, ya sea en su estado natural o luego de ser alterada por el hombre. Además, señala que la calidad está estrechamente relacionada con su uso potable, considerándose que la calidad del agua es de buena cuando puede ser utilizada sin poner en riesgo a la salud de las personas; no obstante, la calidad del agua podría variar según los diferentes usos que se le otorgue.

2.1.9 Bienes asociados al agua

De acuerdo con Pinto (2018), con el fin de comprender los elementos vinculados al recurso hídrico, es crucial comprender que el agua no se presenta de manera aislada en el ambiente, ya que requiere de un medio, soporte, depósito o continente en el cual pueda mantenerse o fluir. La Ley de Recursos Hídricos (LRH), Ley N° 29338, define estos

elementos como bienes asociados al agua, considerados esenciales para su aprovechamiento y, por ende, inherentes a este.

Asimismo, según la LRH, los bienes asociados al agua se dividen en dos categorías principales. En la primera categoría se encuentran los bienes naturales que abarcan elementos como cauces, materiales de acarreo, fajas marginales, riberas, islas, y otros. En tanto, dentro la segunda categoría están los bienes artificiales que comprenden las estructuras creadas por el hombre destinadas a la utilización del agua, como represas, bocatomas, tuberías, canales, defensas ribereñas, y otras construcciones. Estas dos categorías representan los distintos elementos que forman parte integral del entorno hídrico de un espacio geográfico, contribuyendo tanto al funcionamiento natural como a las intervenciones humanas necesarias para su aprovechamiento.

La LRH establece que cuando los bienes asociados al agua son naturales, estos se consideran bienes de dominio público hidráulico. Esta clasificación busca definir el alcance de la ANA y limitar las acciones de las personas sobre estos bienes; exceptuando el uso primario, todas las intervenciones en estos elementos naturales deben contar con la autorización de la ANA, única autoridad destinada a la administración del agua y sus bienes asociados naturales (Pinto, 2018).

2.1.10 Usos del agua

Guillet y Mitchell (1994) señalan que, históricamente, la gestión del agua en el Perú estuvo en su momento mayormente asociada a distintas prácticas culturales y sociales; sin embargo, en la última década el gobierno ha empleado el discurso de la eficiencia y productividad como parte de la nueva cultura del agua. Sobre ello, Trottier (2008) señala que: “insistir en la eficiencia dentro del discurso dominante sobre la gestión del agua nos impide comprender cómo los usos y las tecnologías del agua están integrados en los procesos sociales que siguen evolucionando” (p.206).

En ese sentido, los usos y costumbres ancestrales de la población –principalmente en comunidades campesinas e indígenas– como la reciprocidad, son amenazadas por una

política que promueve el desarrollo de la nueva cultura del agua sustentada principalmente en valores económicos como la eficiencia (Boelens et al., 2006). El concepto de eficiencia del uso del agua ha sido establecido priorizando criterios económicos y volumétricos, generando cierta preocupación, principalmente en el sector de la población que tiene recursos limitados para implementar medidas de mejoramiento en la eficiencia del uso de este recurso (Oré & Rap, 2009).

Es así como con las políticas del agua implementadas por la Ley de Recursos Hídricos en el año 2009, el Estado peruano consolidó su control formal sobre la gestión del agua y configuró una nueva cultura del agua en el país. Esta cultura se basa principalmente en principios jurídicos como la formalidad, el valor económico que se le otorga al agua y la gobernanza hídrica (French, 2016). Por ello, se establecieron tres clases de uso del agua: primario, poblacional y productivo. Cabe señalar que se ha dado prioridad a estos usos en el mismo orden para la asignación del recurso hídrico.

El uso primario implica la utilización directa y efectiva del agua en cuerpos de agua públicos que están disponibles para todos, con el fin de satisfacer aquellas necesidades que es necesario satisfacer para poder sobrevivir. El acceso a las fuentes antes mencionadas es libre y gratuito, siempre que se ejerza el derecho sin perjudicar o trasgredir derechos de terceros, y no se dañen los bienes asociados al agua (Mora, 2018).

El uso poblacional se refiere a la captación y distribución de agua proveniente de fuentes naturales o de la red pública; el agua debe cumplir con los estándares mínimos establecidos para el consumo humano. Respecto a este uso, la Ley de Recursos Hídricos, entre sus principios para el uso y la gestión integral del agua, el principio de prioridad en el acceso al agua, en el cual se señala que “el acceso del agua para la satisfacción de sus necesidades primarias de la persona humana es prioritario por ser fundamental sobre cualquier uso, inclusive en épocas de escasez” (Congreso de la República, 2009).

Por último, en la ley antes citada se menciona que el uso productivo del agua consiste en la utilización del recurso hídrico en actividades productivas o actividades preliminares a estas. Los tipos de uso del agua incluyen: agrario (tanto pecuario como

agrícola), acuícola, pesquero, transporte, energético, industrial, minero, medicinal, turístico y recreativo.

2.1.11 Calidad del agua en función a la categorización de los cuerpos de agua

En relación con la clasificación de los cuerpos de agua continentales empleada en esta investigación, la Resolución Jefatural N°056–2018-ANA, en su anexo N°01, clasifica al río Santa Eulalia en la categoría 1-A2 del ECA (agua para consumo humano). Anteriormente, la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, que fue derogada, también clasificaba al río Santa Eulalia en la misma categoría, y además incluía a la cuenca media y baja del río Rímac en esta misma categoría. Con base en esta información, podemos deducir que los cuerpos de agua estudiados en esta investigación deben cumplir con los ECA Cat. 1-A2.

2.1.12 Indicadores Ambientales: Calidad del agua

Desde hace muchos años, una de las herramientas más utilizadas para la gestión de los recursos hídricos es el monitoreo periódico de los cuerpos de agua; esta herramienta es una forma esencial para identificar si se están produciendo variaciones significativas sobre la calidad del cuerpo de agua. Para una correcta evaluación, se requiere de la recopilación y procesamiento de la información, lo cual implica una observación sistemática y decidida, así como el establecimiento de un plan de acción, considerando que la información obtenida requiere una interpretación diferenciada según su contexto en el tiempo y espacio; esta evaluación en un periodo de largo tiempo permite identificar tendencias, comportamientos cíclicos y eventos anormales (Burt et al., 2014).

En ese sentido, el monitoreo de agua representa una herramienta fundamental para la vigilancia de la calidad del agua; sin embargo, con la finalidad de realizar una evaluación holística nacen los indicadores ambientales, los cuales son elaborados mediante un formato que permita el análisis de los datos y sea a su vez favorable para la aplicación de distintas técnicas estadísticas (Castro et al., 2014). Respecto al desarrollo de modelos de indicadores ambientales, Folch (1999) indica que estos dependen principalmente de lo

asertivo que resulte el modelo matemático propuesto, específicamente del comportamiento de los parámetros que integran el modelo matemático; adicionalmente, estos modelos deberán buscar establecer limitantes para poder medir con exactitud la evolución del desarrollo sostenible.

Según Polanco (2006) los indicadores ambientales son instrumentos que permiten operar el análisis y gestión de la información procesada; para su elaboración, existen diversos marcos de referencia –denominados modelos– como los que se mencionan a continuación: Presión-Estado-Respuesta (PER), Fuerza Motriz-Estado-Respuesta (FER), Modelo-Flujo-Calidad (MFC), Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (DPSIR), Presión-Estado-Impacto/Efecto-Respuesta-Gestión (PEI/ERG) y Presión-Estado-Impacto/Efecto-Respuesta (PEI/ER). Siendo los modelos PER y FER, los más utilizados en el mundo y los modelos empleados por la Comisión de Desarrollo Sostenible para la formulación de indicadores, los mismos que fueron recomendados por la OECD y posteriormente han sido adoptados por el PNUMA (Castro et al., 2014).

A fines de la década de los 80, Friend y Rapport (Pino, 2001) utilizaron por primera vez el modelo PER, el mismo que posteriormente fue difundido y adoptado por la OECD. El principio del PER se fundamenta en las presiones directas e indirectas que ejercen las actividades antrópicas sobre el ambiente (presión), así como el cambio en la cantidad y calidad de los recursos naturales (estado). Por último, se encuentran las respuestas (respuesta) de la sociedad ante estos cambios, adoptando políticas económicas, ambientales y sectoriales (Polanco, 2006).

Por otro lado, el modelo FER fue realizado por las Naciones Unidas (United Nations, 2007). La principal diferencia radica en que el modelo FER sustituye el concepto de "presión" por "fuerza motriz". Esto se debe a que el término "presión" suele asociarse con impactos negativos, mientras que "fuerza motriz" sugiere cambios tanto positivos como negativos (Polanco, 2006).

De esta manera, la Asamblea General de las Naciones Unidas, en el año 2015, adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, conformado por 17 objetivos con 169

metas, siendo el objetivo 6 “agua limpia y saneamiento” el cual está relacionado a la presente investigación. Este objetivo está compuesto en el Perú por 11 indicadores, estando a cargo del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) a través del Sistema de Monitoreo y Seguimiento de los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Uno de los indicadores del Objetivo 6, está relacionado a la calidad del agua. Como antecedentes, se tienen a los índices de Calidad de Agua (ICA), los cuales son herramientas que integran y transforman cuantiosa información relacionada al estado de la calidad de agua en un único valor. Presentan distintas metodologías y clasificaciones que describen su calidad, es decir depende del autor; por ejemplo, Sharma y Chhipa (2012), clasificaron la calidad del agua entre no apta y excelente en función del valor calculado en el ICA; mientras que para Dinius (1972) las clases de calidad, una vez obtenido el ICA, se clasifican entre muy mala y excelente.

2.1.13 Estándares de calidad ambiental para agua

A nivel mundial, a finales de los años 60, en Ohio, surgió una primera iniciativa para la creación de leyes y de estándares relacionados a la calidad del agua, principalmente debido al incendio de una capa de residuos oleaginosos en el río Cuyahoga. Este incidente, junto con otros como la presencia de espesas capas de algas a lo largo de las orillas del lago Erie y peces muertos en la superficie, representó la degradación ambiental provocada por una descontrolada industrialización. Como resultado, se promulgaron legislaciones ambientales significativas, como la *Clean Water Act* de 1972, que regula la calidad del agua en ríos, lagos, estuarios y humedales, y la *Safe Drinking Water Act* de 1974, que regula el agua potable doméstica (Masters & Ela, 2008).

En el Perú, desde el año 1969 se contaba con la Ley General de Aguas, la cual fue reemplazada por la Ley de Recursos Hídricos, aprobada en el año 2009; no obstante, en el 2008 cuando se crearon los primeros ECA para Agua, seguido también de los Límites

Máximos Permisibles (LMP) de saneamiento y distintos tipos de industrias que posteriormente derogaron a normas que se encontraban vigentes de los años 90.

De La Puente (2008) realizó precisiones sobre las distinciones entre los ECA y los LMP. Los primeros se refieren a la calidad de los medios de vida y a las presiones que las actividades antrópicas ejercen sobre estos, basándose en principios constitucionales como la libertad de las personas, la cual no debe dañar el bienestar de la población y debe cautelar el derecho a la propiedad, priorizando el bien común. Por otro lado, los LMP regulan las características físicas, químicas y biológicas de un efluente o emisión resultante de una actividad antrópica, considerando la capacidad de dilución en el agua, aire o suelo (cuerpo receptor).

En ese sentido, Wieland (2017) define a los ECA como aquellos instrumentos de gestión ambiental que representan los estados óptimos de la calidad para cada componente del ambiente, indicando el nivel máximo de inmisión de ciertas sustancias o elementos en el agua, aire o suelo (cuerpo receptor), para evitar riesgos significativos en el ambiente y a la salud de la población.

Asimismo, interpretando lo señalado en la Ley General del Ambiente, el ECA para agua se define como el grado de ciertos elementos, concentración de sustancias o parámetros fisicoquímicos y biológicos presentes en el agua, el cual no representa algún riesgo para las personas y el ecosistema. Dependiendo de los elementos, sustancias o parámetros específicos, el estándar (unidad de medida) puede expresarse en mínimos, máximos o rangos.

Asimismo, en concordancia al numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley General del Ambiente, el ECA es mandatorio en las políticas públicas y diseño de normativas; además, es obligatorio en la creación y aplicación de todos los IGA. En ese sentido, en la Tabla 6 se presentan los ECA para agua aprobados mediante el D.S. N° 004-2017-MINAM.

Tabla 6*Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.*

Parámetros	Unidad de medida	Categoría 1-A2
Físicos- químicos		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	20
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5
Fósforo total	mg/L	0,15
Amoniaco - N	mg/L	1,5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	5,5 - 9,0
Inorgánicos		
Arsénico (As)	mg/L	0,01
Aluminio (Al)	mg/L	5
Manganeso (Mn)	mg/L	0,4
Hierro (Fe)	mg/L	1
Cadmio (Cd)	mg/L	0,005
Plomo (Pb)	mg/L	0,05
Cobre (Cu)	mg/L	2
Mercurio (Hg)	mg/L	0,002
Zinc (Zn)	mg/L	5
Microbiológicos y parasitológico		
Coliformes termotolerantes	UFC/100 mL	2 000

Nota: Adaptado del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

De lo antes mencionado, el ECA-Agua establece los límites de concentraciones de sustancias, elementos o parámetros en el agua, garantizando así su calidad para diversos usos específicos. Estos estándares se organizan en las siguientes categorías: la primera categoría es aplicable para el uso poblacional y recreacional, que se subdivide en tres subcategorías para aguas destinadas a la producción de agua potable y dos subcategorías para actividades recreativas; la segunda categoría aplica para las actividades de extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales, con cuatro subcategorías; la tercera categoría se emplea para el uso de riego de vegetales y bebida de animales, que se divide en dos subcategorías; y la última categoría está relacionada a la conservación del ambiente acuático, que incluye subcategorías para ríos, lagunas y lagos, y ecosistemas costeros y marinos.

Para fines de la presente investigación, de acuerdo con el uso del agua y la importancia de los ecosistemas que se encuentran en el área de estudio, se evaluará la

calidad del agua con los niveles de concentración o del grado de los elementos, sustancias o parámetros correspondientes a la primera categoría: poblacional y recreacional.

2.1.14 Índices de Calidad del Agua

Martínez de Bascarán (1976), señala que desde hace mucho tiempo se viene empleando los Índices de Calidad de Agua (ICA) con la finalidad de simplificar la calidad de los recursos hídricos de cualquier cuerpo de agua en una sola expresión numérica.

Ramírez et al. (1997) menciona que tienen como objeto la estimación numérica, cuyo resultado usualmente varía entre 0 y 1, o su equivalencia de 0 y 100; esta escala numérica representa el estado del agua (calidad) de un cuerpo evaluado. Asimismo, menciona que de esta manera es fácil reconocer problemas de contaminación, sin tener que realizar un análisis individual de los numerosos factores que reflejan la calidad de los recursos hídricos. Finalmente, menciona las bondades de la aplicación de estos índices en una amplia cantidad de cuerpos de agua, e incluso en la aplicación de un solo cuerpo de agua, pero de manera periódica.

En la actualidad existen distintas metodologías para calcular los ICA. La diferencia entre cada tipo de índice es principalmente la fórmula matemática para calcularlos y los parámetros elegidos en la elaboración de la fórmula de cada índice (Caho & López, 2017).

2.1.15 Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales

(ICARHS)

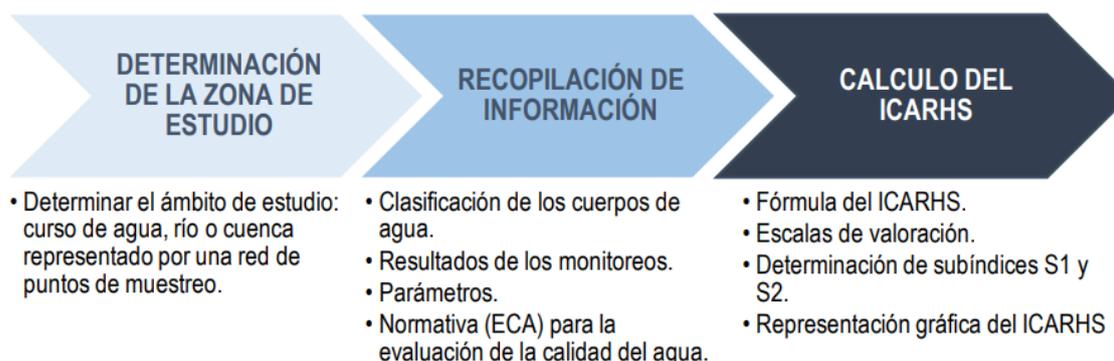
La ANA (2020) publicó la “Metodología para la determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)” en territorio peruano, la cual es una adaptación de la metodología propuesta por el *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) considerando las condiciones especiales del agua y sus bienes asociados en el Perú.

Esta metodología fue desarrollada en tres etapas, las cuales consisten en la delimitación del área de estudio, búsqueda de data histórica y procesamiento del Índice de

Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales, en adelante “ICARHS”, la cual se presenta de manera gráfica en la Figura 3.

Figura 3

Etapas del ICARHS.



Nota: La infografía muestra las etapas para determinar los ICARHS, por ANA (2020).

El Índice de Calidad del Agua para Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) está diseñado para cuerpos de agua lóticos. Se recomienda la aplicación de este índice en puntos de muestreo con al menos cuatro monitoreos históricos. Los resultados se obtienen al realizar una ecuación matemática, la cual comprende la comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua vigentes.

Como se mencionó anteriormente, esta metodología requiere información histórica organizada, destacando la necesidad de al menos cuatro monitoreos, preferiblemente en las dos épocas (húmeda y seca). Las estaciones de monitoreo de calidad del agua empleadas en la investigación deberán cumplir con el Protocolo Nacional de Monitoreo. Asimismo, emplea un promedio de 20 parámetros, agrupados por naturaleza (materia orgánica y fisicoquímicos), se utilizan para calcular el ICARHS, presentándose como un número adimensional entre 0 y 100. Este valor se clasifica cualitativamente en cinco calificaciones, las cuales van entre excelente y pésimo, para calificar el estado de la calidad del agua, dependiendo de dos subíndices (materia orgánica y fisicoquímicos), determinando el valor final por el mínimo de ambos subíndices.

2.1.16 Indicadores de estado de ecosistema

Para comprender el estado de los ecosistemas es fundamental tener claro el término degradación; respecto a ello, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) destaca que, aunque no hay una definición universalmente aceptada, sin embargo, se ha trabajado en la conceptualización de tierras degradadas. En ese sentido, la FAO describe estas tierras como aquellas que han perdido su productividad natural debido a la actividad humana; sin perjuicio, que las definiciones recientes también abordan cambios negativos en la capacidad de los ecosistemas para ofrecer servicios sociales y ambientales, así como bienes complementarios (MINAM, 2019).

A nivel nacional, los ecosistemas degradados sufren la pérdida de factores de producción esenciales, afectando su estructura y capacidad para proveer bienes y servicios. Estas pérdidas, atribuibles a la sobreexplotación de recursos naturales, generan efectos negativos directos en el bienestar social, destacando la importancia de tomar medidas para mejorar esta situación (Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], 2015).

Uno de los mecanismos para determinar los daños colaterales de la degradación en los ecosistemas son los indicadores de estado. Estos indicadores son elementos del ecosistema que pueden ser observados y cuantificados, y están vinculados a uno o más atributos (Pyke et al., 2002). Estos indicadores pueden estar relacionados con la respuesta del ecosistema frente a un factor de degradación, o bien, pueden servir como señales de la presencia misma del factor de degradación.

De acuerdo con el MINAM (2019), para la evaluación del estado del ecosistema bofedal se han establecido cuatro atributos medidos a través de 12 indicadores. Los atributos evaluados corresponden a la condición del agua, condición del suelo, condición de la biota y alteraciones del paisaje. La sumatoria de los puntajes determinados por cada uno de los indicadores refleja el valor relativo obtenido en la zona evaluada, la cual presenta cinco niveles en una escala cuantitativa que varía de 0 a 10, siendo el rango del 8 al 10 indicativo de la mejor condición ecológica del bofedal.

2.1.17 Índices de contaminación del agua

Ramírez et al. (1997) resalta en su investigación ciertas limitaciones de los ICA, las cuales constituyen un obstáculo para su aplicación, esto debido a que el cálculo del ICA representa de manera concisa el estado de los recursos hídricos evaluados en un solo valor numérico, produciendo una pérdida importante de información.

Para evaluar la calidad del agua, Ramírez et al. (1999) desarrollaron cuatro índices de contaminación (ICO) basándose en los resultados del análisis de componentes principales, una técnica de estadística multivariada ampliamente empleada en todo el mundo. Los índices formulados fueron los siguientes índices: contaminación por materia orgánica (ICOMO), contaminación por mineralización (ICOMI), contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) y contaminación trófica (ICOTRO).

Asimismo, en otra investigación, Ramírez et al. (1999) señala que los ICO están diseñados para determinar la contaminación, no están correlacionados y son complementarios. Por lo tanto, un caso específico necesitará de un estudio específico para determinar las variables relacionadas al problema de contaminación.

Por otro lado, diversos autores desarrollaron diferentes métodos para determinar el nivel de contaminación por metales pesados. Los siguientes índices son los más utilizados: *Heavy Metal Pollution Index* (HPI), *Contamination Index* (Cd), *Metal Evaluation Index* (HEI) y *Metal Enrichment Index* (MEI). Respecto al índice de contaminación por metales pesados (HPI, por sus siglas en inglés), es una herramienta que permite clasificar la preponderancia de cada metal pesado evaluado sobre la calidad de los recursos hídricos. La evaluación del HPI se realiza en una escala que varía entre cero y uno, y se calcula a través de pasos que incluyen la determinación de coeficientes de ponderación para cada parámetro y la obtención de calificaciones de calidad para cada metal pesado. El índice general de contaminación por metales pesados se obtiene de la sumatoria de cada subíndice (Abdullah, 2013).

2.2 Marco conceptual

a) Bofedal

El bofedal es un ecosistema andino, también llamado humedal andino, caracterizado por su vegetación herbácea hidrófila. Se encuentra en suelos con pendientes planas a ligeramente inclinadas, donde hay presencia constante de agua o saturación de agua. Por lo general, los suelos suelen ser orgánicos y profundos, con presencia de turba. La vegetación de este ecosistema es densa, compacta y perennemente verde, con un crecimiento en forma de almohadillas o cojines y su altura varía de 0,1 a 0,5 metros.

b) Cuenca hidrográfica

Está determinada por un territorio donde confluye el agua de un solo sistema de drenaje natural; es decir, drena el agua a un punto en común. La cuenca está delimitada por una línea imaginera delineada por las cumbres, conocida como divisoria de aguas. También es conocida como cuenca imbrífera, cuenca de drenaje y hoya hidrográfica.

c) Cuerpos de agua natural léntico

Los cuerpos o ecosistemas lénticos son aquellos cuerpos de agua continentales con altas frecuencias de intercambio de volumen almacenado y bajas velocidades o nulas corrientes de agua; entre estos ecosistemas tenemos: cochas, lagunas y lagos e incluso los humedales y/o bofedales.

d) Cuerpos de agua natural lótico

Los cuerpos o ecosistemas lóticos son aquellos cursos de agua continentales que tienen continuos flujos en una sola dirección, como las quebradas, ríos, entre otros.

e) Efluente

Se entiende por efluente a aquel líquido o agua residual que puede ser vertido en un cuerpo de agua o puede ser reutilizado.

f) Fuente contaminante puntual

Una fuente contaminante puntual de los recursos hídricos son aquellos lugares o elementos donde se encuentran botaderos de desechos sólidos o efluentes domésticos e industriales.

g) Fuente contaminante difusa

Una fuente contaminante difusa de los recursos hídricos son aquellos lugares o elementos contaminantes que se extienden sobre grandes extensiones de tierra, como, por ejemplo: los pasivos ambientales mineros, zonas ganaderas, zonas agrícolas intensivas, concesiones mineras, áreas de aprovechamiento de hidrocarburos, asentamientos humanos, industrias, entre otras.

h) Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos

Es una actividad sistemática que facilita la evaluación periódica de los cuerpos naturales de agua, con el propósito de controlar y medir la exposición a factores de contaminación y su posible impacto en los distintos usos del agua y los bienes asociados.

i) Parámetros de calidad del agua

Están determinados por aquellas sustancias, compuestos, elementos y/o indicadores de propiedades físico-químicas y biológicas que se emplean en la evaluación de la calidad del agua.

2.3 Marco legal

Esta investigación fue desarrollada en base a la normativa ambiental vigente y es concordante con los lineamientos de la Política Ambiental, Plan Nacional de Acción Ambiental, Plan Nacional de Recursos Hídricos y otras políticas de Estado. A continuación, se listan los principales instrumentos y normativas relacionados con la política, planificación y gestión del agua en el Perú:

2.3.1 Ley General del Ambiente

Esta ley, aprobada durante el periodo de consolidación del derecho ambiental en el Perú (2001-2008), regula y ordena aspectos relacionados con la gestión ambiental en el país. De igual forma, otorga a los ciudadanos una serie de derechos relacionados con el medio ambiente y debe garantizar un entorno sano, sostenible y adecuado para la vida de las personas, en armonía con el ecosistema; asimismo, establece obligaciones en la medida en que todos tenemos la responsabilidad de promover una gestión y protección ambiental eficaz.

2.3.2 Ley de Recursos Hídricos

La Ley N° 29338 es el punto de partida para la gestión de los recursos hídricos en el Perú, tiene como objetivo la gestión del recurso hídrico, buscando armonizar y equilibrar la oferta y demanda de este recurso. Esta ley protege tanto la cantidad como la calidad del agua, promueve su uso eficiente y contribuye al desarrollo de la población.

2.3.3 Ley de pasivos ambientales de la actividad minera

Tiene como objetivo regular e identificar los pasivos ambientales generados por la industria minera en el Perú, así como establecer los responsables de los daños causados y a su vez proveer los recursos financieros para la recuperación de las áreas impactadas por estos pasivos ambientales. Esta Ley N° 28271, busca reducir y/o eliminar dichos pasivos con el fin de minimizar o mitigar los posibles impactos negativos hacia la salud pública, el ambiente y la propiedad.

2.3.4 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

Los ECA para agua se establecieron mediante el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, el objetivo de esta norma fue establecer el estándar de comparación para medir la calidad del agua en cada cuerpo de agua y para los distintos tipos de uso del recurso. Cabe resaltar que los indicadores ambientales se calculan de acuerdo con la normativa vigente. En esta investigación, los resultados serán comparados con el ECA Cat. 1-A2 uso poblacional y recreacional.

2.3.5 Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales

El presente protocolo (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA) describe los criterios técnicos para la evaluación de la calidad del agua, abarcando tanto los recursos continentales como los marino-costeros.

En este documento se incluye el procedimiento para el diseño de redes de monitoreo, la frecuencia de monitoreo, la selección de parámetros, la medición de parámetros de campo, y toda la gestión de muestras de agua, hasta obtener los resultados de laboratorio. Además, se contemplan protocolos para asegurar la calidad de los análisis de laboratorio; y la integridad de las personas que participan del monitoreo.

La presente investigación ha empleado información generada por la ANA, siguiendo los criterios técnicos y lineamientos generales descritos en el capítulo 6 “Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales” del presente protocolo.

2.3.6 Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos

Esta norma fue refrendada mediante Resolución Jefatural N.º 042-2016-ANA, este instrumento busca proteger y recuperar la calidad del agua y bienes asociados mediante la contribución a la institucionalidad de la gestión integrada de estos.

Esta estrategia se diseñó considerando tres ejes principales, denominados llamadas “líneas de acción” La primera línea de acción tiene como objetivo recuperar la calidad de los recursos hídricos, reduciendo la cantidad de contaminantes mediante la supervisión adecuada de los vertimientos aprobados en cada cuenca; la segunda línea de acción se enfoca en implementar planes de monitoreo, control y vigilancia; y la última línea de acción busca una mejor gobernabilidad en la gestión de este recurso.

2.3.7 Política y Estrategia Nacional de los Recursos Hídricos (PENRH)

La PENRH es desarrollada por las autoridades como parte de la Ley de Recursos Hídricos, en cumplimiento de la Constitución Política del Perú. El PENRH es uno de los

instrumentos de planificación más importantes para lograr el desarrollo sostenible del país y para su elaboración se consideraron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) del Milenio.

La PENRH establece programas y las medidas que permitirán cumplir con las estrategias, lineamientos de acción y políticas establecidas por el gobierno. El objeto central es alcanzar una gestión integral de los recursos hídricos en el Perú, asegurando la satisfacción de sus necesidades actuales y futuras. Esto implica conservar el recurso, así como su calidad, cantidad y uso eficiente. Los ejes de esta política incluyen la gestión de la oportunidad, cantidad, calidad, cambio climático y cultura del agua.

2.3.8 Guía para evaluación de estado del Ecosistema del Bofedal

Estos lineamientos fueron desarrollados por el Ministerio del Ambiente para complementar los lineamientos sobre compensación ambiental para ecosistemas andinos de altura aprobados mediante Resolución Ministerial 183-2016-MINAM. La evaluación del valor ecológico de los bofedales se basa en el cálculo del Índice de Integridad Biológica (IBI), también conocido como Índice de Integridad Biológica, que indica el estado de un sitio calculado a partir de variables numéricas que representan la influencia humana y características biológicas del sitio.

En el caso de la presente guía, el estado del bofedal se calcula en base a cuatro atributos: la condición hidrológica, la condición del suelo, la condición de la biota y por último la alteración del paisaje. Cada uno de estos atributos está compuesto por una variedad de indicadores, los cuales se relacionan o representan a factores de degradación identificados en el ecosistema a evaluar. En conclusión, esta guía es una herramienta técnica que permite recabar información sobre el estado de degradación de los bofedales para posteriormente formular iniciativas de recuperación y/o conservación de estos.

Capítulo III. Metodología

3.1 Caracterización del área de estudio

3.1.1 Ubicación

Políticamente, la cuenca del río Santa Eulalia se encuentra principalmente en 10 distritos de la provincia de Huarochirí: Carampoma, Huanza, Callahuanca, Huachupampa, San Antonio, San Mateo de Otao, San Juan de Iris, San Pedro de Laraos, San Pedro de Casta y Santa Eulalia.

El río Santa Eulalia es el principal afluente de la cuenca Rímac y su cuenca abarca aproximadamente 1 077,38 km², representando el 30,75% del área total de la cuenca Rímac. Su cauce principal tiene una longitud de 62,36 km, y debido a su ubicación convierte a esta cuenca en un territorio estratégico crucial para el desarrollo de las actividades productivas en la ciudad de Lima, ya que aporta alrededor del 70% de energía que se demanda (Bernex & Matteo, 2016), y provee el 80% de agua para sus diferentes tipos de usos (Agence France-Presse, 2021).

No obstante, no toda esta agua del río Santa Eulalia proviene de forma natural de las partes altas (nevados y lagunas); de forma artificial el caudal es acrecentado a través del túnel trasandino (Cuevas-Milloc) y un sistema de canales, lagunas embalsadas y túneles mediante un trasvase desde la cuenca Alto Mantaro (vertiente del Atlántico). Estos mecanismos posibilitan el trasvase de agua hacia la laguna Milloc, el cual posteriormente aporta sus aguas al río Pillca, tributario del río Santa Eulalia (Charca, 2016).

Además, estos mecanismos permiten que exista el caudal necesario en los cuerpos de agua de esta cuenca para la operación de 4 centrales hidroeléctricas (Huinco, Huanza, Challahuanca y Moyopampa) cuya capacidad instalada asciende a aproximadamente 511 MW.

A pesar de su importancia para Lima, esta cuenca enfrenta altos niveles de pobreza y desigualdad; además de ser vulnerable al cambio climático global y a la variabilidad climática. Es un área con escasa población, donde la actividad agropecuaria es la actividad

principal, donde las comunidades ubicadas en las zonas altas se dedican a la agricultura de subsistencia; mientras que la población ubicada en la parte media y baja se dedica principalmente a la fruticultura y turismo de fin de semana.

A pesar de la relevancia del río Santa Eulalia para la ciudad de Lima, gran parte de la población que habita en este territorio enfrenta desafíos significativos en términos de inseguridad hídrica, alimentaria y energética, todos acentuados por los efectos del cambio climático (Global Water Partnership [GSP], 2013); por los motivos antes señalados, la densidad poblacional es baja. Las comunidades se dedican principalmente a actividades agropecuarias de subsistencia en las zonas altas; en tanto, en las zonas bajas, entre las actividades principales se encuentran transportes, comunicaciones y turismo (Guevara, 2019).

3.1.2 Hidrografía

Según la ANA, la cuenca del río Rímac cuenta con una extensión 3 503,95 km², siendo el 65,7% de su superficie total (302.1 Km²) parte de la cuenca húmeda, la cual comprende a las subcuencas de Alto Rímac, Santa Eulalia, Santa Eulalia-Parac, Río Blanco, Quebrada Parac y Parac-Blanco; y el 34,3% restante está constituido por las subcuencas bajas del río Rímac, como son la Quebrada Jicamarca, Jicamarca-Santa Eulalia y Baja Rímac, que son desérticas y no aportan caudales en ningún sector del río principal.

En el caso del río Santa Eulalia, su cuenca húmeda equivale a más del 90% de su área total, lo que implica que no solo es la subcuenca más extensa de la cuenca Rímac, sino que es también la que más fuentes de agua posee y en consecuencia es la que más caudal aporta a la cuenca Rímac.

A continuación, se describe la información morfométrica de la cuenca del río Santa Eulalia determinada a través del geoprocesamiento de un DEM (Modelo de elevación Digital) de una resolución espacial de 12,5 m proveniente del satélite Alos Palsar; asimismo, se emplearon como referencia los estudios hidrológicos realizados por la ANA.

Tabla 7*Parámetros morfométricos.*

Parámetros morfométricos	Unidad	Cuenca del río Santa Eulalia
Parámetros fisiográficos		
Altitud máxima	Msnm	5 337
Altitud mínima	Msnm	967
Desnivel altitudinal	Km	4,37
Parámetros de forma		
Área	km ²	1 077,67
Perímetro	Km	189,92
Factor de forma	Adimensional	0,28
Coefficiente de compacidad	Adimensional	1,63
Ancho medio	Km	17,28
Relación de elongación	Adimensional	0,19
Parámetros de relieve		
Altitud media	Msnm	3 783,95
Pendiente media del cauce	m/m	0,0708
Pendiente media de la cuenca	m/m	49,7
Lado mayor (L)	Km	82,59
Lado menor (l)	Km	13,05
Parámetros lineales		
Extensión media de escurrimiento superficial		1,59
Longitud del río más largo	Km	62,36
Longitud total de ríos	Km	678,41
Densidad de drenaje		0,63

Nota: Adaptado de ANA (2010).

La subcuenca Santa Eulalia está formada por la naciente del río Pillca desde la laguna Milloc. Limita al norte con la cuenca Chillón, al noreste con la cuenca Mantaro y al este con las unidades hidrográficas menores Rímac, Medio Alto Rímac y Medio Rímac, pertenecientes a la cuenca Rímac.

Se emplaza sobre un área de aproximadamente 1 077,67 km² y su elevación varía entre 5 337 msnm y 967 msnm, generando una pendiente de 49,7% que corresponde a una subcuenca de superficie muy fuertemente accidentada; además, su factor de forma (0,28), índice de compacidad (1,63) y relación de circularidad (0,41) reflejan que esta subcuenca tiende a las crecidas moderadas debido a su forma oval alargada, y la forma de su curva hipsométrica refleja ser una cuenca con gran potencial erosivo.

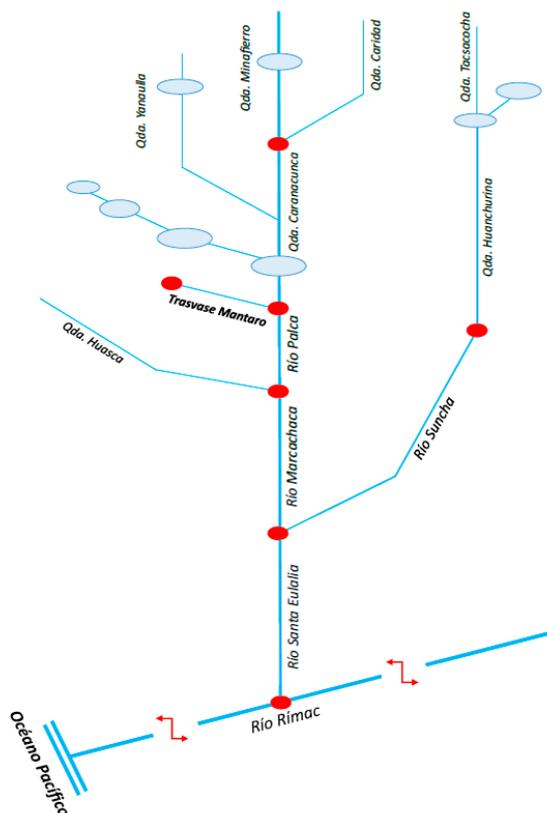
Respecto al cauce principal, desde su naciente el drenaje de los ríos Palca, Macachaca y Santa Eulalia se da en sentido suroeste, con una longitud de cauce de 62,36

km y una pendiente promedio de cauce de 7,08%; además, según los resultados de la densidad de drenaje ($0,63 \text{ km/km}^2$) esta subcuenca se caracteriza con un drenaje bajo. Cabe precisar que la escorrentía superficial proviene principalmente del trasvase realizado en la cuenca alta, seguido de la precipitación que ocurre durante el año sobre las laderas de las montañas, así como de los significativos afloramientos de aguas subsuperficiales.

Aspectos hidrológicos. De acuerdo con las mediciones realizadas por el Senamhi en la estación hidrométrica Santa Eulalia, durante los años 2017 al 2019, el caudal promedio del río Santa Eulalia fue de aproximadamente $12,8 \text{ m}^3/\text{s}$ en su desembocadura en el río Rímac, medido en la estación hidrométrica Chosica. Este caudal representa aproximadamente la mitad del caudal total del río Rímac. Por tanto, la cuenca del río Santa Eulalia adquiere una relevancia crucial para asegurar el suministro de recursos como la energía eléctrica y el agua a la capital.

Figura 4

Diagrama fluvial del área de estudio.



Nota: Adaptado de Consorcio Minero Junín (2017).

Por las características hidrográficas descritas, y por las condiciones de clima estacional, la cuenca del Santa Eulalia tiene un comportamiento fuertemente torrencial. En la Tabla 8 se presentan los caudales promedio del río Santa Eulalia para la estación hidrométrica Sheque, registrada por ENEL durante el periodo 2005 al 2022.

Tabla 8

Caudales promedio mensual del río Santa Eulalia.

Mes	Estación hidrométrica	
	Sheque (m ³ /s)	Santa Eulalia (m ³ /s)
Enero	16,09	10,16
Febrero	19,65	15,62
Marzo	23,54	31,96
Abril	18,92	20,54
Mayo	12,02	12,76
Junio	11,60	3,02
Julio	12,23	4,20
Agosto	12,55	3,44
Setiembre	12,79	3,00
Octubre	13,26	4,38
Noviembre	13,52	4,63
Diciembre	13,97	4,08
Promedio	15,01	12,74

Nota: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 8, los caudales que pasan por la estación Santa Eulalia son tres a cuatro veces superiores en los meses lluviosos de enero a abril, respecto de los caudales de los meses más secos (junio a setiembre). En los meses más secos los caudales son muy reducidos y, al contrario, son abundantes en los meses de lluvia. No obstante, al ser una cuenca regulada por diversos embalses y represas, los caudales reportados en la estación Sheque se mantienen constantes.

3.1.3 Clima y meteorología

Esta sección describe las características del clima en la cuenca del río Santa Eulalia, a través de la interpretación de variables meteorológicas y climatológicas; para ello, se ejecutó un procesamiento sistemático de información; así como el análisis de información histórica proporcionada por las estaciones meteorológicas administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), empleando las siguientes

estaciones: Santa Eulalia, Autisha, Sheque, Carampoma y Milloc. En la Tabla 9 se presenta la ubicación geográfica de las estaciones empleadas en la presente investigación.

Tabla 9

Ubicación de las estaciones meteorológicas.

Nombre	Coordenadas UTM WGS84 – Zona 18S		Altitud (msnm)
	Este	Norte	
Santa Eulalia	318 494	8 681 747	970
Autisha	324 436	8 701 899	2 220
Sheque	336 275	8 710 498	3 188
Carampoma	334 839	8 711 151	3 424
Milloc	352 805	8 720 502	4 384

Nota: Adaptado del portal institucional del SENAMHI.

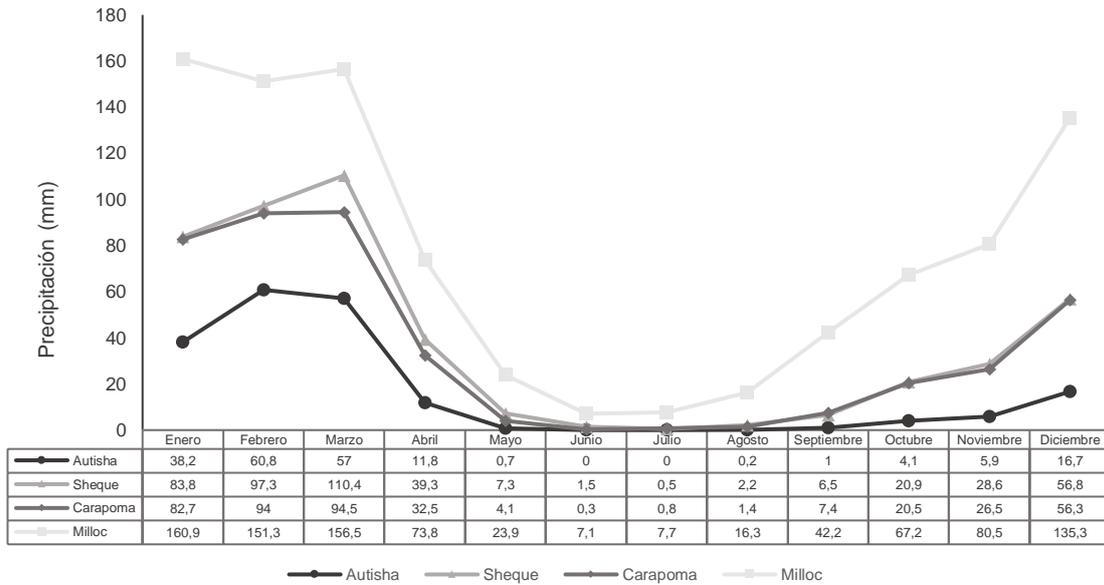
Los parámetros principales que definen o caracterizan el clima en la cuenca Santa Eulalia son la temperatura, la precipitación y la humedad relativa. Estos parámetros son esenciales para la caracterización y tipificación climática de cualquier cuenca hidrográfica. La información sobre estos parámetros proviene de las estaciones meteorológicas listadas en la Tabla 9. A continuación, se describe cada uno de estos parámetros climáticos.

Precipitación. La estacionalidad del clima se refleja principalmente en la variabilidad de la precipitación a lo largo del año. Este comportamiento estacional se evidencia en la información recolectada en la presente investigación, para lo cual se han establecido dos temporadas (húmeda y seca).

La temperatura húmeda se caracteriza por ser un período de lluvias intensas que se extiende de diciembre a marzo, concentrando el 71,92 % de las precipitaciones anuales, seguido por la temporada seca, de abril a noviembre, en el que las precipitaciones disminuyen al 28,08 %. De acuerdo con su distribución geoespacial, las precipitaciones varían entre 196,4 mm en la cuenca media y baja, y 922,7 mm en las partes altas de la cuenca.

Figura 5

Gráfico de variación de precipitación.



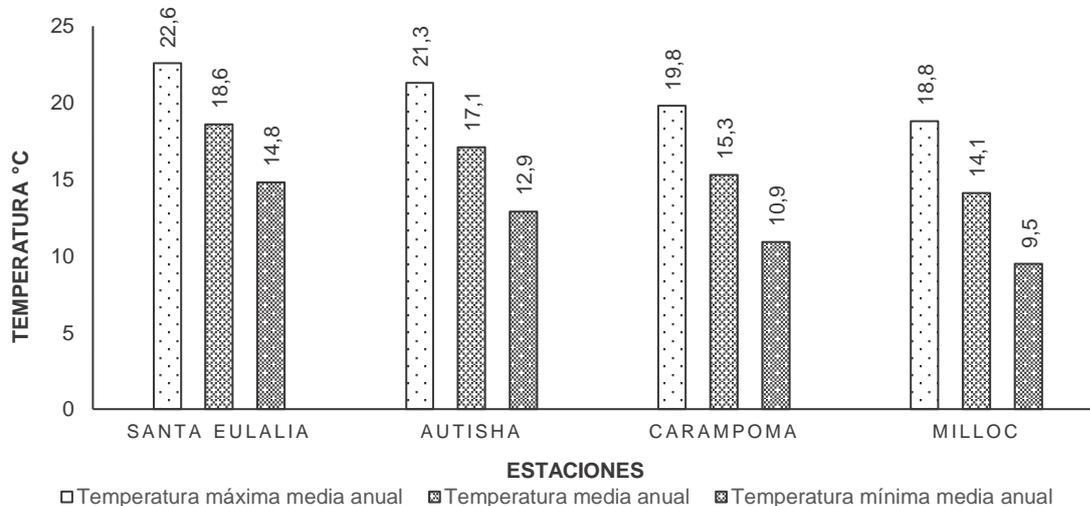
Nota: Elaborado a partir del estudio hidrológico realizado por la ANA (2010) y SENAMHI (2023).

Temperatura. Las temperaturas máximas en las estaciones presentan una variación mensual muy diferenciada, siendo la temperatura máxima media de la cuenca de 20,6 °C. La mayor temperatura (T_{max}) se registró en la estación Santa Eulalia con 22,6 °C.

En el caso de las temperaturas mínimas, las estaciones Carapoma y Milloc registraron las temperaturas más bajas, específicamente entre 10,9 °C y 9,5 °C.

Figura 6

Gráfico de variación de la temperatura.



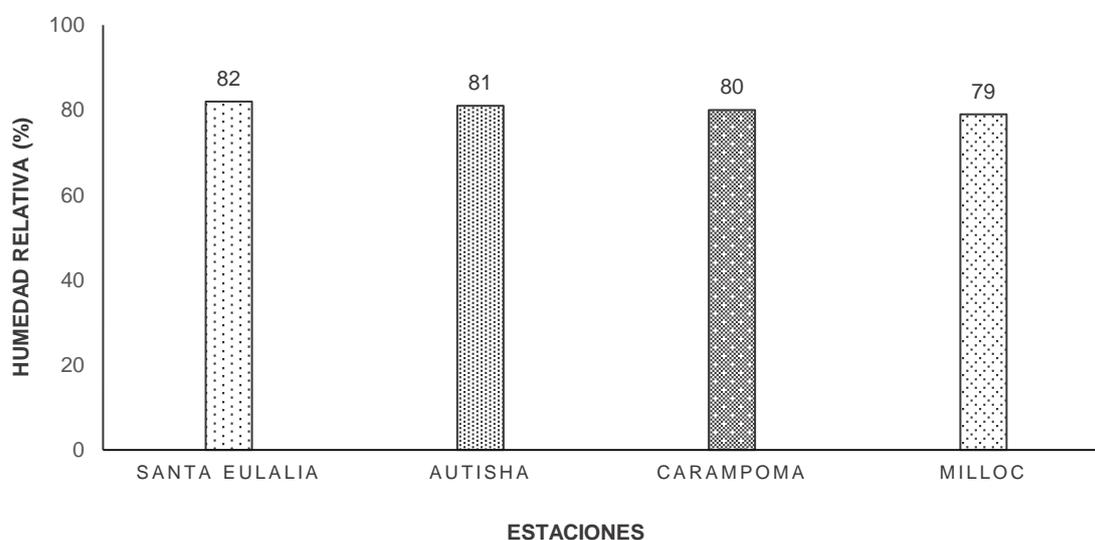
Nota: Elaborado a partir del estudio hidrológico realizado por la ANA (2010).

Humedad relativa. Con respecto a este parámetro, es preciso indicar que no se registran mediciones de humedad relativa en las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca del río Santa Eulalia, por lo que para la presente investigación se emplearon las relaciones determinadas en el estudio hidrológico realizado por la ANA, en el cual se determinó una relación humedad relativa–altitud, empleando los datos de estaciones vecinas, mediante técnicas estadísticas.

El análisis de correlación mostró que la humedad relativa va disminuyendo conforme la altitud aumenta, por lo que la estación Santa Eulalia obtuvo el mayor promedio anual con 82%; en tanto, la estación Milloc obtuvo el menor valor promedio con 79% de HR.

Figura 7

Gráfico de variación de la humedad relativa.



Nota: Elaborado a partir del estudio hidrológico realizado por la ANA (2010).

3.1.4 Geología

A nivel regional, la cuenca del río Santa Eulalia se encuentra comprendida principalmente en los cuadrángulos geológicos de Chosica (Hoja 24-t) y Matucana (Hoja 24-t) de la Carta Geológica del Perú.

El área de estudio se encuentra localizada en la vertiente occidental de los Andes, en donde las partes altas de la Cordillera Central actúan como la divisoria de las aguas. Desde el punto de vista geológico, la cuenca está compuesta por sedimentos continentales

y marinos, que fueron inicialmente alterados por la intrusión del batolito de la Costa y posteriormente afectados por procesos geodinámicos (epirogénicos y orogénicos), generando fuerzas tectónicas que dieron lugar al levantamiento de las cadenas montañosas que conforman los Andes. Los procesos antes señalados resultaron en la formación de importantes estructuras geológicas, como fallas, pliegues y sobre escurrimientos.

Las cadenas montañosas resultantes sufrieron una intensa erosión antes de que se depositaran diversas capas geológicas, con presencia de lavas y piroclastos terciario-cuaternarios. Este relieve generado fue nuevamente deformado, dando origen a un segundo sistema montañoso, las cuales configuraron el paisaje actual. Desde el punto de vista cronológico, las rocas más antiguas pertenecen al Jurásico superior, y se encuentran representadas por la formación Arahua.

A lo largo del Cretáceo inferior, se desarrollaron dos principales facies de acumulación, una en el extremo oeste, representada por las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y otra al este, con facies clástica arenocarcítica correspondiente al grupo Goyllarisquiza. Al finalizar el Cretáceo inferior, se registró una transgresión, depositándose sedimentos calcáreos de las formaciones Chulec, Pariatambo y Jumasha en la parte alta de la cuenca. Posteriormente, durante el Terciario inferior, una nueva actividad volcánica resultó en depósitos de lavas intercaladas con sedimentos continentales, formando los grupos Colqui, Rímac y la formación Carlos Francisco.

Luego se desarrolló un nuevo ciclo volcánico-sedimentario, dando lugar a la formación Huarochirí y Millotingo. Después, en el Terciario superior, la formación Pacococha marcaron el final del ciclo deformativo andino. La orogénesis durante esta etapa formó la superficie Puna, elevándola a más de 4,000 metros sobre el nivel del mar, debido a un sistema de fallamientos gravitacionales. En el Plio-pleistoceno, la erosión glacial y fluvial se volvió más intensa, profundizando los valles y formando depósitos Cuaternarios, como depósitos glaciares, aluviales, fluvioglaciares y coluviales.

Las rocas volcánicas e intrusivas, como granitos, tonalitas, granodioritas, dioritas, andesitas, monzonitas, riodacitas y dacitas, se distribuyen en toda la cuenca, intruyendo en las rocas más antiguas y relacionándose de manera directa con la estratigrafía y la tectónica de la región. Cabe resaltar que gran parte de los yacimientos mineros se encuentran emplazados sobre rocas volcánicas terciarias, en forma de filón, las cuales fueron originadas por el relleno de las fisuras con soluciones hidrotermales.

Características litológicas. El área de estudio se encuentra sobre rocas de diversas composiciones y edades, abarcando desde el Jurásico hasta el Cuaternario reciente. Estas rocas se clasifican como sedimentarias, intrusivas, volcánicas y metamórficas, destacándose las volcánicas e intrusivas por su extensión dentro de la cuenca. La formación Arahua representa las rocas más antiguas (Jurásico), compuestas por sedimentos volcánicos de andesitas, calizas, limolitas y areniscas.

En el Terciario, las rocas ígneas muestran tufos, andesitas, derrames, aglomerados y basaltos. Por otro lado, las rocas metamórficas incluyen pizarras, mármoles, cuarcitas, esquistos y filitas. En tanto, los depósitos cuaternarios identificados en la cuenca incluyen materiales aluviales en valles, coluviales en laderas empinadas, glaciares y fluvioglaciares en altiplanicies y cercanías de nevados.

Los factores litológicos, microfisuración y macrofisuración, junto con agentes externos, han dado lugar a mantos de derrubios en laderas empinadas. En la parte media y alta de la cuenca, se encuentran amplios afloramientos de rocas volcánicas y sedimentarias, mientras que en la parte media predominan las rocas plutónicas, como granitos, granodioritas y dioritas.

Los pasivos ambientales mineros identificados en la cuenca del río Santa Eulalia, ubicados en la parte alta de la cuenca, tienen como unidad litoestratigráfica predominante a la andesita porfírica del volcánico Pacococha y la granodiorita cubierta por suelos coluviales, glaciares y fluvioglaciares.

3.1.5 Geomorfología

De acuerdo con el estudio de Caracterización hidrogeológica de la subcuenca Santa Eulalia, realizado por Ingemmet (Charca, 2016), el área de estudio presenta dos provincias fisiográficas bien diferenciadas: Borde Oeste de la Cordillera Occidental y Cordillera Occidental.

Borde Oeste de la Cordillera Occidental. Esta provincia fisiográfica está conformada por paisajes que se alejan de la cordillera de los Andes. Está conformada por las colinas, valles transversales y las estribaciones andinas.

Colinas. Esta unidad geomorfológica está conformada por terrenos de menor altura que las montañas; es decir, alturas menores de 300 metros medidos desde su base local, por lo general, presentan una inclinación mayor a 16% en sus laderas y cimas estrechas.

Valles Transversales. Esta geoforma está conformada por la disección transversal producida por los ríos y quebradas que discurren del macizo andino. La erosión fluvial generada por los cursos de agua se habría desarrollado durante la deglaciación pleistocénica, ocasionando que el potencial erosivo de estos cuerpos de agua aumente (Salazar, 1983).

Estribaciones Andinas. Esta unidad geomorfológica fue originada por el emplazamiento del Batolito Costero y posteriormente modelado por agentes erosivos como el agua y el viento; asimismo, han sido modificados a partir de procesos fluvio-aluvial y gravitacionales. Esta unidad está constituida por laderas y crestas cuya topografía califica como abrupta, comúnmente se conoce a esta geoforma como cerros (Chiroque & Lavado, 2016).

Cordillera Occidental. Esta provincia fisiográfica está conformada por los paisajes que se encuentran en la parte más alta de la cuenca, como las altas cumbres, valles de origen glaciario, campo de morrenas y altiplanicies.

Altas cumbres. Este paisaje presenta un relieve agreste con predominio de pendientes empinadas a extremadamente empinadas, que fueron modeladas por las

diferentes etapas de erosión y presenta condiciones de vida difíciles para el desarrollo de los animales y plantas (Rivera et al., 2008).

Valle Glaciar. Esta unidad está conformada por la acumulación de geoformas de origen glaciar, las cuales han sido transportadas por los deshielos o retrocesos de los glaciares, y se emplazan sobre las partes altas de la cuenca. Se caracterizan por conformar una sección típica en forma de U, generalmente con circos glaciares en su cabecera. Además, muchos de estos valles se encuentran alrededor de glaciares y lagunas, las cuales están represadas generalmente por campos de morrenas y diques naturales (Rivera et al., 2008).

Morrenas. Esta unidad comprende geoformas convexas suaves y alargadas, producto de la destrucción mecánica de las rocas y materiales heterométricos de las laderas de montañas, que por la acción del movimiento de los glaciares y el intemperismo son erosionados (dinámica glaciar) y transportados hacia los fondos del valle. Las morrenas registran la existencia de los avances glaciares durante el Pleistoceno-Holoceno.

Altiplanicie. Esta unidad está conformada por antiguas planicies estructurales, ubicadas en una zona alta debido principalmente a la actividad tectónica. En mayor parte, está constituida por plegamientos de la corteza terrestre, que involucran formaciones sedimentarias y/o volcánicas de diferente edad geológica que han conservado su estructura (Serrato, 2009).

3.1.6 Zonas de vida

De acuerdo al Mapa ecológico del Perú publicado por INRENA (1995), el cual fue trabajado en la base al sistema de Holdridge, la cuenca del río Santa Eulalia se encuentra sobre las siguientes zonas de vida: desierto perárido premontano tropical, desierto superárido subtropical, estepa montano tropical, estepa espinoso montano bajo tropical, matorral desértico subalpino tropical, matorral desértico montano tropical, páramo húmedo subalpino tropical, páramo muy húmedo subalpino tropical y tundra pluvial alpino tropical.

3.1.7 Vegetación

En términos generales, la vegetación comprende aquellos componentes vegetales que interactúan en una determinada zona geográfica, influenciados por factores bióticos (animales y humanos) y abióticos (climáticos, edáficos, geomorfológicos, hídricos, entre otros). Desempeña funciones cruciales como parte del sistema ecológico, tales como el almacenamiento de energía, la transformación de energía solar, la estabilización de pendientes, la protección contra la erosión, el refugio para la fauna, entre otros.

Para la caracterización de las unidades de vegetación en la cuenca del río Santa Eulalia, se tomó como base el mapa nacional de cobertura vegetal (MINAM, 2015), y se realizaron ajustes de acuerdo con lo observado durante las evaluaciones de campo, así como la revisión de otras fuentes de información, como el inventario nacional de bofedales (INAIGEM, 2023), el inventario nacional de glaciares las cordilleras glaciares (INAIGEM, 2018), e imágenes satelitales.

Bajo estas premisas, se identificaron 11 unidades de vegetación en la cuenca del río Santa Eulalia, de las cuales cinco pertenecen a coberturas naturales: bosque relicto altoandino, pajonal andino, bofedal, matorral arbustivo y cardonal; una corresponde a unidades antrópicas de cobertura vegetal: vegetación agrícola ganadera, y las últimas cinco a otras coberturas: área sin vegetación o con escasa vegetación, área urbana, glaciar y cuerpos de agua (lagunas, lagos y cochas).

A continuación, se describen las características principales de las coberturas naturales:

Bosque relicto altoandino. En un sector de la cuenca alta existen zonas con bosques relictos, los cuales están presentes en pequeños parches, sobre laderas de montañas y en valles con limitado acceso. Estos bosques poseen una gran variedad de especies, siendo las especies más conocidas las pertenecientes al género *Polylepis*, también conocidas como “quenual”, “quinual” o queñoal.

Pajonal Andino. La fisionomía de esta unidad de vegetación se debe a la prominencia de gramíneas vigorosas y de porte alto, las cuales alternan principalmente con

hierbas rosuladas, gramíneas de porte bajo y arbustos. Los suelos son más profundos y ricos en materia orgánica. Los géneros dominantes corresponden a las gramíneas vigorosas del género *Calamagrostis* (Poaceae). En el piso dominan otras gramíneas cespitosas de porte bajo como *Agrostis* y *Poa*, además de hierbas rosuladas de géneros como *Lachemilla* (Rosaceae) y *Senecio* (Asteraceae); finalmente, dentro de los arbustos se observan especies del *Senecio*.

Bofedal. esta unidad es también llamada “oconal” o “turbera”, derivado del quechua *oqo* cuyo significado es mojado, constituye un ecosistema hidromórfico y se encuentra en la cuenca alta, a más de 3 800 m.s.n.m., principalmente al norte del área de es. Predomina la vegetación herbácea, las cuales se encuentran adaptadas a las condiciones hidromórficas del suelo. Entre las especies más comunes se encuentran las familias *Asteraceae*, *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Gentianaceae*, *Juncaceae* y *Plantaginaceae*.

Matorral arbustivo. Unidad caracterizada también por los afloramientos rocosos, alternando con suelos en laderas inclinadas que propician el desarrollo de especies arbustivas. Los suelos son generalmente superficiales, pero en los intersticios rocosos o determinadas zonas se observan suelos profundos. Aunque las especies arbustivas configuran esta unidad (especies de asteráceas), son las hierbas rosuladas y cespitosas las que dominan, siendo las más frecuentes; *Lachemilla* (Rosaceae), *Oenothera* (Onagraceae), *Werneria* (Asteraceae) y *Agrostis* (Poaceae).

Cardonal. Se caracteriza por ser una unidad de vegetación que presenta comunidades de suculentas de la familia *Cactaceae*, las cuales se encuentran dispersas en laderas de colinas y montañas, asociadas con especies arbustivas y herbáceas. Entre las familias sobresalientes se encuentran: *Cactaceae*, *Asteraceae* y *Solanaceae*.

3.1.8 Áreas naturales protegidas y ecosistemas frágiles

Dentro del área de estudio no se han identificado ninguna área natural protegida por el estado, zona de amortiguamiento, ni área de conservación regional de acuerdo con el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP).

Respecto a ecosistemas frágiles, considerando el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (RM N° 440-2018-MINAM), se han identificado dos tipos de ecosistemas frágiles dentro del área de estudio: bofedales y los bosques relictos. Es importante señalar que estos no se encuentran en la Lista Sectorial de Ecosistemas Frágiles de acuerdo con el D.S. N° 018-2015-MINAGRI “Reglamento para la gestión forestal”, ni en las listas actualmente emitidas por el SERFOR.

3.1.9 Identificación de fuentes contaminantes

De acuerdo con los Lineamientos para la Identificación y Seguimiento de Fuentes Contaminantes Relacionadas con los Recursos Hídricos aprobados por R. J. N° 136-2018-ANA, durante el 2020, la ANA identificó 396 fuentes contaminantes en la cuenca del río Rímac. Siendo solo dos de origen natural; en tanto, 394 fueron de origen humano o antropogénico. Dentro de las fuentes contaminantes de origen antropogénico, se registraron 269 relacionadas con aguas residuales, 122 con residuos sólidos y tres con la disposición "in situ" de sustancias contaminantes.

Se identificaron 39 fuentes contaminantes en la cuenca del río Santa Eulalia; 20 corresponden a aguas residuales (agropecuaria, doméstica y minero-metalúrgica) y 19 a residuos sólidos (gestión municipal, gestión no municipal no peligrosos y gestión no municipal peligrosos). En la Tabla 10 se presenta mayores detalles.

Tabla 10

Fuentes contaminantes por tipo en la cuenca del río Santa Eulalia.

Naturaleza	Tipo	Total
Aguas Residuales (A.R.)	A.R. Agropecuaria	1
	A.R. Doméstica	14
	A.R. Minero Metalúrgica	5
Residuos Sólidos (R.S.)	R.S. Gestión municipal	3
	R.S. Gestión no municipal, peligrosos	15
	R.S. Gestión no municipal, no peligrosos	1

Nota: Adaptado de ANA (2020).

Cabe resaltar que 20 de las 39 fuentes contaminantes identificadas corresponden al desarrollo de actividad minera en la parte alta de la cuenca, y en su mayoría se encuentran en el Inventario de Pasivos Ambientales Mineros elaborado por el Ministerio de

Energía y Minas. El inventario inicial fue aprobado en el 2006 y a lo largo del tiempo ha sido actualizado. Al año 2023 este inventario está conformado por 6 128 pasivos ambientales mineros.

En la cuenca del río Santa Eulalia se han identificado 190 pasivos ambientales mineros de tipo residuo minero, labor minera, infraestructura y otro residuo.

Tabla 11

Pasivos ambientales mineros identificados en el área de estudio.

Tipo	Subtipo	Total
Residuo minero	Depósito de mina	66
	Relaves	8
	Material de desbroce	1
Labor minera	Bocamina	56
	Chimenea	9
	Media barreta	9
	Tajeo comunicado	6
	Pique	3
	Trinchera	3
	Tajo	2
Infraestructura	Campamentos, oficinas y talleres	16
	Plantas de procesamiento	5
	No determinado	5
Otro residuo	De construcción	1

Nota: Adaptado de MINEM (2023).

3.2 Procesamiento de datos y análisis

3.2.1 Recolección y tratamiento de datos

La recolección y tratamiento de los datos se llevó a cabo en tres fases: elección de estaciones de monitoreo, determinación del período de estudio y selección de variables relacionadas con la calidad del agua. Se decidió usar datos solo de estaciones de monitoreo activas por al menos cuatro años, ya que este lapso garantiza una mayor cantidad de estaciones con datos completos. Este paso es crucial dado que el análisis multivariado puede verse afectado por la ausencia de datos y la consiguiente necesidad de descartar otros registros.

3.2.2 Información disponible

En esta etapa se recolectó la información de calidad de agua de la cuenca del río Santa Eulalia (monitoreos, fuentes contaminantes, clasificación de cuerpos de agua y vertimientos), de la plataforma denominada Observatorio Nacional de Recursos Hídricos la cual forma parte del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH), herramienta tecnológica e institucional creada por la ANA para respaldar las decisiones dentro del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos.

En adición, se solicitó a la ANA y OEFA, a través del mecanismo de acceso a la información pública, los resultados de los monitoreos de calidad de agua, realizados en la cuenca Santa Eulalia entre los años 2012 y 2022. En la Tabla 12 se presenta información de los monitoreos ejecutados, así como los informes técnicos que sustentan sus resultados.

Tabla 12

Monitoreos realizados por la Autoridad Nacional del Agua.

Periodo	Monitoreos	Fuente de información
2012 - 2022	Monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Rímac	Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH)
2017 - 2021	Informes de monitoreo de calidad de agua superficial de la Central Hidroeléctrica Huanza.	Solicitud de Acceso a la Información Pública (Carta N° 00418-2024-OEFA/RAI)

Nota: Elaboración propia.

Los criterios de evaluación que se tomaron en cuenta para la evaluación de la calidad de agua corresponden a los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los Estándares de Nacionales de Calidad Ambiental para Agua; así como los procedimientos establecidos en los Protocolos Nacionales de Monitoreo de Calidad de Agua vigentes.

3.2.3 Selección de estaciones y parámetros

Desde el año 2012, la ANA a través de la Administración Local del Agua Chillón Rímac Lurín, viene realizando el monitoreo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Rímac. Entre 2012 y 2022, se monitorearon un promedio de 23 a 25 estaciones de monitoreo, las cuales fueron establecidas considerando los trabajos de identificación de

fuentes contaminantes, los vertimientos aprobados y los derechos de uso de agua otorgados en el área de estudio.

Esta red de monitoreo se encuentra distribuida de la siguiente manera: 16 estaciones se ubican en el río Rímac (cuerpo principal), mientras que las nueve estaciones restantes se encuentran en los ríos tributarios o afluentes. De estas nueve estaciones, una estación se ubicó en el río Blanco, dos estaciones en el río Aruri, una estación en el río Mayo, una estación en la quebrada Huaycoloro y cuatro estaciones en el río Santa Eulalia.

Para la presente investigación se seleccionaron los cuatro puntos de monitoreo ubicados en el río Santa Eulalia, la estación LCanc-1 comparada con los ECA Cat. 4, en tanto las estaciones QLeón-1, QColl-1 y RSant-1, se compararon con los ECA Cat. 1-A2. Por otro lado, se seleccionaron los seis puntos de monitoreo analizados entre el 2017 y el 2021, cuyos resultados se encuentran en los informes de monitoreo de calidad de agua superficial de la Central Hidroeléctrica Huanza, obtenidos a través de la solicitud de acceso a la información pública.

En la Tabla 13 se precisan las coordenadas de ubicación de las estaciones de monitoreo empleadas en la presente investigación.

Tabla 13

Estaciones de monitoreo en la cuenca del río Santa Eulalia.

Código	Cuerpo de agua	Coordenadas UTM (WGS84)		Altitud (m.s.n.m.)	Categoría
		Este (m)	Norte (m)		
LCanc1	Laguna Canchis	353 462	8 720 515	4 463	Cat. 4
QLeon1	Quebrada Leoncocha	352 759	8 720 871	4 416	Cat. 1-A2
QColl1	Quebrada Collque	338 477	8 711 051	3 355	Cat. 1-A2
RSant1	Río Santa Eulalia	318 220	8 681 395	924	Cat. 1-A2
AS1	Río Pallca	347 746	8 717 019	4 063	Cat. 1-A2
AS2	Río Pallca	346 814	8 716 160	4 024	Cat. 1-A2
AS4	Río Macachaca	338 654	8 710 965	3 342	Cat. 1-A2
AS5	Quebrada Conay	340 062	8 716 944	4 113	Cat. 1-A2
AS6	Quebrada Conay	339 856	8 716 805	4 102	Cat. 1-A2
AS8	Río Macachaca	338 347	8 710 938	3 338	Cat. 1-A2

Nota: Elaboración propia.

La selección de las estaciones de monitoreo se realizó con el objetivo de garantizar su representatividad estadística (durante el periodo de evaluación) y geoespacial. Para lograr dicha representación estadística, se optó por seleccionar las estaciones que habían sido monitoreadas de manera continua al menos cinco años, siguiendo el criterio utilizado por Calazans (2015) en un estudio con objetivos similares.

En cuanto a los parámetros de calidad del agua en la cuenca del río Santa Eulalia, se emplearon tres criterios para su selección. Primero, se tomaron como referencia los parámetros indicados en la guía metodológica del ICARHS, cuyo estándar de comparación se encuentra establecido en ECA para agua (D.S N°004-2017-MINAM). Segundo, se realizó una evaluación de la importancia ambiental de acuerdo con las principales fuentes contaminantes identificadas en el área de estudio. Por último, se excluyeron los parámetros cuyos registros estaban en más del 90% por debajo del L.D., debido a que no representaban una variación significativa o aporte en la calidad del agua (Calazans, 2015; Alderete, 2022).

La base de datos final se encuentra compuesta por registros de 14 parámetros de calidad de agua y 10 estaciones de monitoreo evaluadas entre 2012 y 2021. Los parámetros seleccionados fueron: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fósforo total, aluminio total, arsénico total, cadmio total, cobre total, hierro total, manganeso total, plomo total, zinc total y coliformes termotolerantes.

3.2.4 Pretratamiento y análisis de datos

Luego de establecer las estaciones y los parámetros fisicoquímicos que intervienen en la calidad del agua, se inició el preprocesamiento de datos, que implicó la sustitución e imputación de estos, de acuerdo con los procedimientos que se describen en los siguientes párrafos.

Para aquellos resultados que registraron valores por debajo del L.D., se sustituyó por la mitad del valor del L.D. (Flores, 2017). Esta práctica constituye un enfoque habitual

para abordar las limitaciones analíticas en la medición de contaminantes en estudios ambientales; ya que se fundamenta en la premisa de que los valores por debajo del límite de detección se distribuyen uniformemente entre cero y el LD, lo cual permite un análisis estadístico más coherente y evita la sobreestimación de las concentraciones. Aunque su precisión puede variar según el contexto, el método LD/2 ofrece una solución práctica y conservadora, ampliamente aceptada en estos tipos de monitoreos.

Para aquellos valores faltantes, se empleó la técnica de imputación de datos conocida como método del k-vecino más cercano. Esta técnica es una de las más empleadas en minería de datos y utilizada en diversas técnicas de análisis de datos (Flores, 2017; Mailló, 2020), clasifica casos según su similitud con otros, utilizando la distancia entre ellos como medida de disimilaridad. Se identifican los casos más cercanos a aquellos con datos faltantes y se utiliza el valor de estos casos cercanos para imputar los datos ausentes (Useche & Mesa, 2006). Este método destaca especialmente en contextos ambientales, donde la similitud y proximidad entre datos son cruciales para clasificar casos.

Por último, siguiendo la recomendación de Hair et al. (2009), ante la presencia de valores atípicos se evaluó individualmente la probabilidad de ocurrencia de cada caso para decidir si se debían mantener o eliminar los datos del análisis. Este paso es crucial, ya que los valores atípicos pueden tener un impacto significativo en los resultados del análisis multivariado, afectando la interpretación y las conclusiones del presente estudio.

3.2.5 *Análisis exploratorio de datos*

De acuerdo con Triola (2009) el análisis exploratorio de datos original (no estandarizado) es un proceso que utiliza diversas herramientas estadísticas (gráficas y tendencias), y busca comprender las propiedades más relevantes de un grupo de datos; es por ello por lo que la presente investigación empleó estas herramientas estadísticas para cada variable analizada.

El Análisis Exploratorio de Datos (EDA) incluyó las siguientes características y medidas de datos: media, desviación estándar, mediana, máximo, mínimo, varianza,

curtosis y asimetría. Son fundamentales para entender la distribución y las características intrínsecas de los datos. Este proceso ayuda a identificar patrones, tendencias y posibles anomalías que podrían no ser evidentes solo a través de las estadísticas descriptivas, haciendo uso de herramientas como gráficos de caja, histogramas y diagramas de dispersión, especialmente útiles en esta etapa y en casos de distribuciones sesgadas.

3.3 Análisis estadístico de la variación estacional

Los datos de calidad de agua fueron organizados en dos bases de datos (temporadas húmeda y seca) de acuerdo con la fecha del monitoreo y lo descrito en la sección 3.1.3 Clima, con la finalidad de evidenciar las variaciones estacionales de los datos.

Previo a la aplicación de la estadística descriptiva que permita validar o rechazar la existencia de variaciones estacionales, se determinará la distribución de cada variable, de acuerdo con el tamaño de muestra, con la finalidad de elegir las metodologías estadísticas que cumplan con los supuestos de su aplicación.

De acuerdo con el tamaño de la muestra, se emplearon las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov para evaluar la distribución estadística de cada variable analizada. Posteriormente se analizará la homocedasticidad de las variables, mediante la comparación de las variables agrupadas en la temporada húmeda y seca. Cuando la distribución sea normal, se aplicará la prueba F de Fisher; por otro lado, cuando la distribución sea no normal, se aplicará la prueba de Fligner-Killeen.

Una vez validadas las condiciones necesarias, para aquellas variables cuya distribución sea normal se aplicará la prueba T (T); en tanto, las variables que presenten distribución no normal serán evaluadas mediante la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney (U). El nivel de significancia aplicado para todos los test antes mencionados será de 1 % (López, 2023).

3.4 Análisis estadístico y espacial de fuentes contaminantes

3.4.1 Análisis de conglomerado jerárquico (ACJ).

De acuerdo con la revisión de los métodos estadísticos multivariados utilizados en el análisis de calidad de agua realizado por Gómez y Peñuela (2016), el análisis de clúster (AC), también conocido como análisis de conglomerados, es uno de los métodos de agrupamiento más empleados en el análisis de calidad de agua.

Kumar (2006) clasifica las técnicas de clúster en tres, en las cuales encabezan las técnicas jerárquicas y no jerárquicas, seguido de las técnicas exclusivas superpuestas y difusas y, por último, las técnicas completas y parciales. Una vez definida la técnica es necesario establecer el método de asociación o proximidad y el método de agrupamiento. De acuerdo con Gómez y Peñuela (2016), el análisis conglomerado jerárquico (ACJ) se recomienda para muestras pequeñas, ya que el objetivo es conocer o identificar las similitudes entre las variables evaluadas.

De acuerdo con lo señalado en el párrafo anterior, la presente investigación se aplicó el ACJ. Este método multivariado se llevó a cabo sobre la base de datos construida y rectificadas en la primera parte de la metodología, con la finalidad de evaluar la relación entre las variables o parámetros de calidad de agua, observándose al final de este procedimiento el agrupamiento, un gráfico llamado dendograma. Como medida de asociación o proximidad se empleó la distancia euclidiana, índice de proximidad de distancia más empleado en diferentes estudios (Aldas & Uriel, 2017); y como método de agrupamiento se utilizó el método de Ward.

Previo a la aplicación del ACJ, se realizó la estandarización de las variables, la cual consistió en transformar un conjunto de datos a media 0 y la varianza 1, con la finalidad de minimizar y/o eliminar la influencia de la varianza (Triola, 2009); así como las diferentes unidades de medida de los parámetros fisicoquímicos que describen la calidad del agua, obteniendo datos adimensionales.

El ACJ sirvió para agrupar los parámetros de la calidad del agua evaluados. Los parámetros que presentaron un alto grado de homogeneidad se agruparon dentro de un mismo grupo o clúster; en tanto, los parámetros muy heterogéneos entre sí se agruparon en diferente clúster; este nivel de similitud entre los parámetros se refleja en una gráfica llamada dendograma. Esta gráfica representa el proceso de agrupamiento de un conjunto de variables; las uniones se realizan a través de dos líneas verticales provenientes de las variables y una línea horizontal que las conecta para la distancia correspondiente (Peña, 2002).

Para esta investigación, el ACJ se realizó en RStudio, el cual es un entorno de desarrollo integrado del lenguaje de programación R, empleando la función “dist” para calcular las matrices de distancias y la función “hclust” para crear el dendograma. Para la configuración del dendograma se emplearon los parámetros orgánicos e inorgánicos seleccionados anteriormente.

3.4.2 *Análisis de Componentes Principales (ACP).*

Gómez y Peñuela (2016) en su investigación de métodos estadísticos multivariados en la calidad del agua, indican que las limitaciones y dependencias entre grupos de variables relacionadas a la calidad del agua, específicamente las correlaciones que se forman entre estos grupos incumplen el supuesto de independencia que se exige para la aplicación de la mayoría de los métodos multivariados. Una solución ante esta situación es la aplicación de los métodos de reducción de dimensión, entre los cuales se encuentran principalmente el análisis de componentes principales (PCA) y el análisis factorial (FA).

En la presente investigación se empleará el análisis de componentes principales (ACP), debido a que el ACP es una técnica matemática que no requiere que la distribución de los datos sea normal. En su aplicación se busca transformar un conjunto de variables correlacionadas en un conjunto reducido de variables no correlacionadas, a las cuales se denominan componentes principales (CPs). Esta técnica tiene como objetivos la reducción

de la dimensión y facilitar la interpretación de un conjunto de datos (Johnson & Wichern, 2007).

El ACP se realiza mediante combinaciones lineales de variables que tienen especiales propiedades en su varianza, la cual representa una medida de la cantidad de información dentro de un componente. En la aplicación de este método se busca maximizar la varianza de una combinación lineal de variables, con la menor pérdida de información posible (Aldas y Uriel, 2017). El ACP presenta alto grado de sensibilidad ante valores atípicos, información faltante y cuando la correlación entre variables es baja; por ello, se recomienda realizar un tratamiento previo al conjunto de datos (Gil, 2020). La Ecuación 1 que representa el componente principal es la siguiente:

$$Y_{ij} = Z_{i1}X_{1j} + Z_{i2}X_{2j} + Z_{i3}X_{3j} + \dots + Z_{im}X_{mj} \quad (1)$$

En donde Z equivale a la carga del componente, Y es la puntuación del componente, X es el valor medido de una determinada variable, i es el número del componente, j representa la cantidad de muestras, y m el número total de variables analizadas.

Antes de ejecutar el ACP, se aplicó la prueba de Kolmogorov Smirnov (K-S) a todo el conjunto de datos para comprobar si se ajustaron a una distribución normal. La prueba K-S. Por otro lado, con la finalidad de corroborar la idoneidad de los datos para el ACP se aplicaron las pruebas estadísticas de Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) y de esfericidad Barlett. La prueba de KMO mide la adecuación de la muestra y sirve para evaluar si los datos son adecuados para realizar este tipo de análisis; en tanto, la prueba de Barlett es una prueba de hipótesis que evalúa si las matrices de covarianzas de las variables son adecuadas para la aplicación del ACP.

El KMO varía entre 0 y 1, donde los valores superiores a 0.5 son considerados como satisfactorios para la aplicación del ACP. En tanto, si el resultado de la prueba de esfericidad de Barlett es significativo ($p < 0,05$), se rechaza la hipótesis nula de que todas las variables presentan una correlación nula entre sí, y se concluye que es factible la aplicación del ACP (Crombet et al., 2019).

De manera similar a lo aplicado en el ACJ en primer lugar se realizó la estandarización de todos los datos. Posteriormente se aplicó el ACP, con el objetivo de reducir la dimensionalidad de las variables, facilitar la interpretación de los datos y realizar un mejor análisis de las principales potenciales fuentes de contaminación en la subcuenca del río Santa Eulalia. En la evaluación espacial de la calidad de agua superficial realizada por Mustapha et al. (2014) concluyeron que el ACP fue una técnica sólida y confiable con buena precisión predictiva y además cumplió con el objetivo de reducción de dimensionalidad de variables analizadas.

Los análisis estadísticos antes descritos se realizaron en RStudio, empleando la función *prcomp*. Los resultados del ACP fueron sometidos a una rotación ortogonal de los ejes factoriales, más conocido como criterio Varimax, el objetivo fue facilitar la interpretación del significado de los factores seleccionados (Peña, 2002). Adicionalmente, existen ciertas reglas para determinar el número de factores a conservar; uno de los más empleados es el criterio de Kaiser, el cual indica que solo hay que conservar los componentes principales cuyos valores propios (eigenvalores) sean mayores que la unidad (Kaiser, 1960), o en su defecto se aplica el método de varianza explicada o se realiza un gráfico de sedimentación, donde la varianza total explicada por cada componente o factor (varianza acumulada) sea lo suficientemente alta (Gil, 2020).

En base a estos criterios, solo aquellos factores con valores propios mayores o iguales a 1 (autovalores significativos) serán aceptados como posibles fuentes de varianza en los datos, con la más alta prioridad atribuida al factor que tiene la suma más grande del eigenvector (Belkhiri et al., 2010).

3.5 Evaluación de la contaminación por metales pesados

Para la determinación del grado de contaminación del agua, primero se determinó el ICARHS, y posteriormente se determinaron los índices de contaminación por metales pesados (HPI, HEI y Cd). En el cálculo de estos indicadores se emplearon los ECA agua

Cat. 1-A2 y de manera complementaria se emplearon estándares de la OMS para el cálculo de los índices de contaminación.

A continuación, se describe de manera detallada la metodología para el cálculo de ICARHS y los índices de contaminación empleados en la presente investigación:

3.5.1 Determinación del ICARHS

El ICARHS es una herramienta matemática adaptada de la metodología canadiense (CCME WQI), de acuerdo con los requerimientos y las características especiales presentes en el territorio peruano. Para la aplicación de este índice se contó con información histórica, de al menos cuatro registros, por estación de monitoreo.

Los parámetros empleados en el cálculo del ICARHS, se seleccionaron de acuerdo con la guía metodológica de este índice; así como la clasificación de cuerpos de agua superficiales. De acuerdo a esta clasificación, nueve de las diez estaciones de monitoreo pertenecen a la categoría 1-A2; en tanto, el punto de monitoreo ubicado en la Laguna Canchis pertenecería a la categoría 4; sin embargo, debido a las características de este cuerpo de agua (represado) y alimenta continuamente a la quebrada de su mismo nombre, y a su vez el punto de monitoreo se encuentra ubicado a la salida de la laguna, todos los puntos de monitoreo fueron evaluados con la categoría 1-A2, ya que el uso principal del agua es para uso poblacional.

Los parámetros considerados en la categoría 1-A2 son: pH, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, fósforo total, coliformes termotolerantes, aluminio, cadmio, arsénico, hierro, manganeso y plomo. En el caso de parámetros no registrados, estos no fueron considerados en el cálculo del ICARHS.

F1- Alcance: este factor representa la cantidad de parámetros que no cumplen con el ECA sobre la cantidad de parámetros evaluados.

$$F_1 = \frac{N^{\circ} \text{ de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{N^{\circ} \text{ total de parámetros a evaluar}} \quad (2)$$

F2- Frecuencia: este factor refleja el cumplimiento del ECA sobre la cantidad de datos totales.

$$F_2 = \frac{N^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA}}{N^\circ \text{ total de datos evaluados}} \quad (3)$$

F3- Amplitud: este factor representa la desviación estándar entre todos los datos, se encuentra determinada por la Suma Normalizada de Excedentes (SNE).

$$F_3 = \left(\frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \right) \times 100 \quad (4)$$

El cálculo de la SNE se basa en la diferencia que existe entre el ECA y las concentraciones reportadas para cada parámetro (excedente).

$$\text{Suma Normalizada de Excedentes} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de Datos}} \right) \quad (5)$$

Para determinar el excedente se presentan dos casos, el primer caso se da cuando los valores o concentraciones superan el ECA agua, para ello se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Excedente} = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en los ECA Agua}} \right) - 1 \quad (6)$$

El segundo caso se aplica específicamente para los valores o concentraciones que se encuentran por debajo del ECA agua, como es el caso del pH y el oxígeno disuelto, los cuales se encuentran determinados por un rango de valores, en esos casos se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Excedente} = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en los ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple los ECA Agua}} \right) - 1 \quad (7)$$

Después de obtener los resultados de cada factor (F1, F2 y F3), se realiza el cálculo de los dos subíndices.

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (8)$$

En la Tabla 14 se presenta la clasificación del ICARHS, el cual varía de 0 a 100, y se encuentra agrupado en cinco rangos.

Tabla 14*Valoración del ICARHS.*

Valor ICARHS	Calificación ICARHS	Interpretación
95 – 100	Excelente	La calidad del agua está protegida, ausencia de amenaza o daño, y su condición está muy cerca de los niveles naturales o deseables.
80 – 94	Bueno	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua; sin embargo, pueden estar amenazadas.
65 – 79	Regular	La calidad del agua a menudo se aleja de los requerimientos mínimos para su uso. Muchos de los usos requieren de tratamiento.
45 – 64	Malo	La calidad del agua no cumple con los requerimientos mínimos para su uso. Muchos de los usos requieren de tratamiento.
0 – 44	Pésimo	La calidad del agua no cumple con los requerimientos mínimos para su uso. Todos los usos requieren de tratamiento.

Nota: Adaptada de R. J. N° 084-2020-ANA

Por último, el resultado final del ICARHS estará determinado por el resultado de menor valor o la calificación más crítica de dos subíndices S_1 y S_2 , según la siguiente expresión:

$$ICARHS = \min.(S_1, S_2) \quad (9)$$

3.5.2 Determinación de Índices de Metales Pesados

Para determinar el efecto de los metales pesados en la calidad del agua, se calcularon tres índices de metales pesados: *Heavy pollution index* (HPI), *Heavy metal evaluation index* (HEI) y *Contamination index* (CI). La selección de parámetros para realizar la evaluación de los índices antes mencionados se realizó mediante la revisión de bibliografía, la geología de la zona y los metales considerados para el cálculo del ICARHS, siguiendo las clasificaciones de los ECA agua. Para la Categoría 1 A2 se agruparon los parámetros en dos grandes grupos; el primero relacionado a la materia orgánica: DBO₅, BQO, oxígeno disuelto, coliformes termotolerantes, fósforo total y amoníaco, y el segundo a los parámetros fisicoquímicos: pH, arsénico, aluminio, manganeso, hierro, cadmio y plomo.

De acuerdo con El-Hamid y Hegazy (2017), el HPI refleja el efecto de los metales pesados sobre la calidad del agua, se basa en el método de media aritmética ponderada y se desarrolla en dos pasos. En primer lugar, se establece una escala de calificación para

cada parámetro seleccionado, otorgándole una ponderación; la cual corresponde a una constante entre 0 y 1, diferente por cada metal evaluado. La elección de esta constante es directamente proporcional a la importancia del metal evaluado en la calidad del agua o también puede emplearse a los valores inversamente proporcionales al estándar de comparación. En segundo lugar, se realiza la evaluación del subíndice Q_i con los resultados de cada metal pesado seleccionado.

Venkata Mohan et al. (1996) propuso un modelo para el cálculo de HPI, el cual se desarrolla mediante la Ecuación 2.

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (10)$$

n = corresponde al número de parámetros considerados para el cálculo.

W_i = es el peso unitario de cada parámetro.

La unidad de ponderación (W_i) y (S_i) son ambas inversamente proporcionales entre sí como se muestra en la Ecuación 3.

$$W_i \cong \frac{1}{S_i} \rightarrow W_i = \frac{K}{S_i} \quad (11)$$

K = es una constante de proporcionalidad

El Q_i es un subíndice que se calcula con la Ecuación 4.

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i - I_i}{S_i - I_i} \right) * 100 \quad (12)$$

M_i = es la concentración individual de cada metal pesado.

I_i = es la concentración ideal de cada metal pesado.

S_i = es la concentración o estándar máximo permisible de cada metal pesado.

Tabla 15

Clasificación del HPI.

Valor HPI	Estatus
<15	Bajo
15-30	Medio
>30	Alto

Nota: Adaptado Tiwari et al. (2015)

El segundo índice, denominado Índice de Evaluación de Metales Pesados (HEI) es un método utilizado para evaluar el impacto general de cada parámetro en la calidad del agua (Saleem et al., 2019). Tanto el HEI como el HPI proporcionan una calidad general del agua con respecto a los metales pesados (Edet & Offiong, 2002). Se calcula mediante la Ecuación 5.

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{MAC_i} \quad (13)$$

M_i : concentración medida del i-ésimo parámetro

MAC_i : máxima concentración permitida

Tabla 16

Clasificación del HEI.

Clase	Contaminación	HEI
1	Baja	<1
2	Media	1 - 3
3	Alta	>3

Nota: Adaptado de Edet y Offiong (2002)

El tercer índice, denominado Índice de Metales (Cd), evalúa la calidad del agua calculando el grado de contaminación por separado para cada muestra de agua analizada. Este índice se calcula sumando los factores de contaminación de los componentes individuales que exceden el valor superior permitido, el cual es conocido como Concentración Máxima Permitida (MAC, por sus siglas en inglés). Por tanto, la Cd resume los efectos combinados de varios parámetros de calidad considerados perjudiciales para la calidad del agua (El-Hamid & Hegazy, 2017). El Cd se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$Cd = \sum_{i=1}^n C_{fi} \quad (14)$$

$$C_{fi} = \frac{M_i}{MAC_i} - 1$$

C_{fi} : factor de contaminación del i-ésimo componente

MAC_i : máxima concentración permitida

Tabla 17*Clasificación del Cd.*

Clase	Contaminación	Cd
1	Baja	<1,2
2	Media	1,2 – 2,4
3	Alta	>2,4

Nota: Adaptado de Edet y Offiong (2002)

3.6 Evaluación ambiental del estado de los ecosistemas frágiles

La aplicación de la metodología para la evaluación del estado de bofedales se basa en la caracterización de cuatro atributos medidos a través de 12 indicadores correspondientes, en virtud de lo recomendado en la Guía de evaluación del estado del ecosistema bofedal (MINAM, 2019). Estos indicadores se detallan a continuación:

3.6.1 Condición del agua

Napa freática. Una vez determinadas las unidades muestrales, se realizará un hoyo empleando un barreno hasta observar la presencia de agua. Para realizar la medición de la profundidad de la napa freática se dejará que el nivel de agua se estabilice, en tanto, se irán realizando las otras pruebas en campo. Una vez estabilizado el nivel del agua, se empleará una wincha para medir la profundidad.

Conductividad eléctrica. En el mismo hoyo donde se medirá la profundidad de la napa freática se realizará la medición de la conductividad eléctrica y la temperatura con el apoyo de un equipo multiparámetro.

3.6.2 Condición del suelo

Profundidad de turba y materia orgánica. Empleando un barreno, se extraerá pequeñas secciones de turba, la misma que será medida hasta que no se encuentre turba en la punta del barreno o que la muestra extraída se observe suelo saturado, registrando la profundidad hasta la que se encontró turba. La medida máxima será de un metro, ya que a partir de esa profundidad el bofedal se consideraría regular. La muestra superficial obtenida con el barreno se empleará para el análisis de materia orgánica de los 10 cm,

eliminando previamente toda la vegetación. Serán empaquetadas y codificadas en campo para luego ser llevadas al laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

Densidad aparente. Esta prueba se realizará empleando un cilindro metálico cuyo volumen fue previamente medido, previo a la introducción del cilindro en el suelo se debe retirar la vegetación. Una vez retirada la vegetación, el cilindro deberá ser introducido a unos 4 o 5 cm de la superficie preparada, asegurando que el cilindro se encuentre cubierto en su totalidad. Las muestras serán empaquetadas y codificadas en campo para luego ser llevadas al laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

Signos de erosión. Para esta evaluación se observará cuidadosamente el bofedal y su entorno, y se registrará lo observado, siguiendo criterios como la presencia de erosión laminar, alteraciones, surcos y zanjas, parches, fragmentación.

3.6.3 Condición de la biota

Especies nativas, riqueza de especies y cobertura vegetal viva: Para la evaluación de la vegetación de los bofedales se realizarán transectos ubicados al azar en el área del bofedal. En cada transecto se extenderá una cinta métrica de 50 m, realizando lecturas cada 50 cm, sumando un total de 100 puntos por transecto. Esta técnica permite calcular e identificar la cobertura vegetal viva, las especies nativas y la riqueza de especies. Además de la composición y riqueza de especies, bajo esta metodología se incluirán la totalidad de las especies vegetales identificadas en campo (fanerógamas, musgos y líquenes).

Además, para la cobertura vegetal viva se empleará el transecto anteriormente definido, de tal manera que en cinco puntos de cada transecto se realizará la estimación visual de la cobertura vegetal con ayuda de un cuadrante de 1 m². Posteriormente, la información recolectada será rectificadas empleando proporciones con los porcentajes calculados en cada transecto.

La ubicación y número de transectos dentro de las estaciones de muestreo (bofedales), será determinada de acuerdo con la gradiente de humedad y tamaño del bofedal. El número mínimo de transectos a evaluar será uno, hasta cuatro de identificarse los 4 gradientes de humedad: Áreas inundadas, Áreas saturadas, Áreas con capacidad de campo y Áreas secas (MINAM, 2019).

Biomasa aérea. La biomasa se calculará mediante el método de corte. En la misma ubicación de los transectos de evaluación de cobertura vegetal, se emplearán cuadrantes de aproximadamente 25 x 25 cm, y se colectará la cobertura hasta el ras del suelo, obteniéndose 3 submuestras por transecto, a los 5m, 10m y 20m, que serán unidas en una sola muestra por transecto. Las muestras recolectadas se guardarán en un solo empaque de papel, codificada, que será llevada al Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la UNALM, donde será secada, y pesada al seco.

3.6.4 Alteraciones del paisaje

Presencia de factores de degradación. En esta evaluación, se recopilarán evidencias de factores de degradación presentes en el bofedal y sus paisajes colindantes. Para cada factor se calculará la abundancia e intensidad, mediante un gradiente, lo cual permitirá determinar el impacto que cada factor pudiera generar.

Durante la evaluación en campo se realizará una inspección visual de la presencia de factores de degradación; así como su intensidad o abundancia. Para ello se empleará la descripción de la Tabla 19 que mejor explique lo observado.

Tabla 18

Factores de degradación de bofedal.

Factor de degradación	Nivel	Abundancia	Intensidad
Alteraciones hidrológicas dentro del bofedal	Alta (3)	Las zanjas de infiltración o canales cubren una alta proporción del área (al menos 30%)	La diferencia entre la superficie del suelo y el curso del agua es de 25 cm a más
	Baja (1)	Las zanjas de infiltración o canales cubren una baja proporción del área	La diferencia entre la superficie del suelo y el curso del agua es menos de 25 cm

Factor de degradación	Nivel	Abundancia	Intensidad
Ganadería	Alta (3)	Presencia de más de 3 unidades animal por hectárea. O alta abundancia de estiércol de ganado	El pastoreo continuo en el área de bofedal (si hay algún informante local)
	Baja (1)	Presencia de menos de 3 unidades animal por hectárea. Baja presencia de estiércol de ganado	El pastoreo es estacional en el área de bofedal (si hay algún informante local)
Cosecha de turba	Alta (3)	En más del 15% del área se ha cosechado turba	Se ha drenado el bofedal y cosechado más de 30 cm de profundidad de turba.
	Baja (1)	En menos del 15% del área se ha cosechado turba	No se ha drenado el bofedal y se ha cosechado menos de 30 cm de turba
Quemas	Alta (3)	Evidencia de quema reciente en al menos el 25% del área	La quema siempre es de alta intensidad.
	Baja (1)	Evidencia de quema en menos del 25% del área	

Nota: Elaborado a partir de MINAM (2019)

Conectividad hidrológica. Se evaluó todo el entorno del bofedal, con el objetivo de determinar la existencia de alteraciones que hayan modificado los cursos naturales de agua que recargan el bofedal.

Durante el trabajo de campo se elegirá el factor que más se acomode a lo observado, identificando los problemas o alteraciones que imposibilitan la recarga hídrica del bofedal; así como la presencia de infraestructura, nutrientes y/o contaminantes que afectan la permeabilidad del agua hacia el bofedal; y la presencia de canales o conductos estacionales o permanentes, que imposibilitan la recarga del bofedal.

3.7 Cálculos y/o aplicaciones y obtención de resultados

3.7.1 Procesamiento de datos y análisis estadístico

Pretratamiento de datos. Luego de realizar el pretratamiento de los datos, en aquellos datos que se registraron por debajo del límite de detección de su respectivo método de ensayo y en los valores faltantes, de acuerdo con la metodología planteada, así como la revisión de los valores atípicos. La base de datos para la presente investigación

resultó en 14 parámetros fisicoquímicos y biológicos y 10 estaciones de monitoreo de calidad de agua, durante el período 2013 a 2021, cuyos datos fueron agrupados en temporada seca y temporada húmeda. Los parámetros seleccionados fueron: demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrogeno (pH), aluminio (Al), arsénico (As), cadmio (Cd), hierro (Fe), manganeso (Mn), plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn), fósforo (P) y coliformes termotolerantes (CTT). En tanto, las estaciones seleccionadas fueron: LCanc1, QLeon1, RSeul1, QColl1, AS1, AS2, AS4, AS5, AS6 y AS8.

Análisis exploratorio. Una vez realizado el pretratamiento de los datos, se procedió a exportar la base de datos y analizarla del entorno de desarrollo integrado RStudio, del lenguaje de programación R. En la Tabla 19 se presentan los resultados del análisis estadístico descriptivo (media, mínimo, máximo, desviación estándar, varianza, asimetría y curtosis) de los parámetros de calidad del agua evaluados en la presente investigación. En el Anexo 3 se presenta mayor detalle de las estadísticas descriptivas de los parámetros analizadas en cada una de las 10 estaciones de monitoreo seleccionadas.

Con la finalidad de facilitar el análisis, los parámetros se agruparon en dos grandes grupos según su naturaleza (materia orgánica y fisicoquímica [metales]). Dentro de los parámetros de naturaleza orgánica, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO) y el oxígeno disuelto (OD) presentaron rangos entre 0,5 a 3 mg/L, de 1 a 38 mg/L, y de 3,45 a 11,8 mg/L, respectivamente. Las estaciones QColl1 y QHuay1 mostraron los valores promedio más altos de DBO₅ y DQO; en tanto, las estaciones LCanc1 y QHuay1 registraron los valores más bajos de OD. Las concentraciones de fósforo total (P) oscilaron entre 0,001 mg/L y 0,66 mg/L. En tanto, los coliformes termotolerantes registraron valores de 1 NMP/100 ml a 49 000 NMP/100 ml, siendo la estación RSant1 la que registró el valor promedio más alto.

El pH osciló entre 3,34 y 8,6; con el valor mínimo registrado en la estación LCan1 y el valor máximo en la estación AS1. En cuanto a los metales, el Fe, Al y Mn fueron los más abundantes en la cuenca del río Santa Eulalia, mientras que el Cr, Hg, Se y Ni estuvieron

presentes en menores cantidades, por debajo de los ECA-agua. Las concentraciones promedio de los metales totales fueron: As (0,01 mg/L), Al (0,907 mg/L), Mn (0,258 mg/L), Fe (0,898 mg/L), Cd (0,0014 mg/L), Pb (0,0081 mg/L), Cu (0,051 mg/L) y Zn (0,32 mg/L).

En la Tabla 19 se detallan los resultados de la estadística descriptiva de los parámetros analizados en la cuenca del río Santa Eulalia.

Tabla 19*Resumen estadístico de los resultados de calidad de agua por parámetro.*

Parámetro	n	Rango	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
DBO ₅	104	2,50	1,30	0,55	0,50	3,00	1,98	4,23
DQO	104	37,00	3,70	6,25	1,00	38,00	3,90	16,83
OD	104	8,35	7,02	0,98	3,45	11,80	0,64	5,80
CTT	104	48 999,10	1 066,63	5 564,87	0,90	4 9000,00	6,97	52,91
P	104	0,66	0,032	0,069	0,001	0,660	7,551	64,911
pH	104	5,26	7,55	1,03	3,34	8,60	-2,03	4,27
As	104	0,04	0,010	0,007	0,000	0,038	1,156	2,564
Al	104	20,77	0,907	2,199	0,006	20,780	7,265	61,482
Mn	104	1,85	0,258	0,341	0,006	1,852	1,806	3,573
Fe	104	18,73	0,898	2,055	0,014	18,746	6,599	52,327
Cd	104	0,02	0,0014	0,0029	0,000005	0,0181	3,4581	13,4943
Pb	104	0,08	0,0081	0,0123	0,0001	0,0758	2,9833	10,8708
Cu	104	0,79	0,051	0,138	0,000	0,793	3,520	12,524
Zn	104	1,66	0,320	0,391	0,003	1,659	1,394	1,234

Nota: Obtenido a partir de RStudio.

3.7.2 Determinación de la variabilidad temporal

Una vez construida la base de datos de calidad de agua dividida por temporada húmeda y seca, los datos se organizaron en dos matrices para analizar la variabilidad temporal de cada variable o parámetro. Primero se utilizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de las variables.

Tabla 20

Prueba de normalidad por parámetro y periodo.

Kolmogorov-Smirnov			
Parámetro	Temporada	Estadístico	Sig.
DBO ₅	Húmeda	0,425	<0,001
	Seca	0,264	<0,001
DQO	Húmeda	0,371	<0,001
	Seca	0,327	<0,001
OD	Húmeda	0,107	0,200
	Seca	0,183	<0,001
CTT	Húmeda	0,478	<0,001
	Seca	0,43	<0,001
P	Húmeda	0,353	<0,001
	Seca	0,387	<0,001
pH	Húmeda	0,179	<0,001
	Seca	0,256	<0,001
As	Húmeda	0,128	0,043
	Seca	0,116	0,064
Al	Húmeda	0,368	<0,001
	Seca	0,28	<0,001
Mn	Húmeda	0,253	<0,001
	Seca	0,295	<0,001
Fe	Húmeda	0,36	<0,001
	Seca	0,282	<0,001
Cd	Húmeda	0,305	<0,001
	Seca	0,314	<0,001
Pb	Húmeda	0,264	<0,001
	Seca	0,254	<0,001
Cu	Húmeda	0,368	<0,001
	Seca	0,438	<0,001
Zn	Húmeda	0,261	<0,001
	Seca	0,246	<0,001

Nota: ± Error estándar de la media.

Como resultado, se obtuvo que solo las variables arsénico (As) y oxígeno disuelto (OD) presentaron una distribución normal, mientras que para los otros parámetros la distribución fue no normal.

Una condición necesaria para la aplicación de la metodología es que las variables cumplan con el supuesto de homocedasticidad, para ello se aplicó la prueba F, para aquellas variables con distribución normal (As y OD); y la prueba de Fligner-Killeen, aquellas variables con distribución no normal.

Tabla 21

Prueba de homocedasticidad de parámetros agrupados por temporada.

Grupo (húmeda y seca)	Test F		Fligner-Killeen	
	F	p	χ^2	p
DBO ₅	-	-	0,841	0,359
DQO	-	-	0,398	0,528
OD	1,6	0,405	-	-
CTT	-	-	0,106	0,745
P	-	-	0,099	0,753
pH	-	-	0,005	0,942
As	0,7	0,209	-	-
Al	-	-	0,032	0,857
Mn	-	-	1,005	0,316
Fe	-	-	0,925	0,336
Cd	-	-	3,133	0,077
Pb	-	-	2,282	0,131
Cu	-	-	4,261	0,039
Zn	-	-	5,602	0,018

Nota: ± Error estándar de la media.

Todas las variables presentaron comportamientos homocedásticos ($p > 0,01$), por tanto, se cumplen con las condiciones necesarias para la aplicabilidad de las pruebas paramétricas y no paramétricas que permitan la comparación de muestras independientes de la misma población. Para aquellas variables cuya distribución fue normal (As y OD) se aplicó la prueba T (T); por otro lado, en aquellas variables con distribución no normal, se aplicó la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney (U). Todas las pruebas se realizaron con un nivel de significancia del 1 %.

Tabla 22*Resultados de los test estadísticos (T/U).*

Variable	p (T)	p (U)
DBO ₅	-	0,487
DQO	-	0,961
OD	0,202	-
CTT	-	0,703
P	-	0,055
pH	-	0,509
As	0,104	-
Al	-	0,646
Mn	-	0,684
Fe	-	0,971
Cd	-	0,526
Pb	-	0,444
Cu	-	0,079
Zn	-	0,062

Nota: test T (T); test de Wilcoxon-Mann-Whitney (U); valor p (p).

3.7.3 Determinación de las fuentes de contaminación

Análisis de Componentes Principales (ACP). Previo a la aplicación del ACP, se realizaron las pruebas de Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) y de esfericidad de Bartlett, para asegurar la idoneidad de los datos en el análisis.

Tabla 23*Prueba de KMO y Bartlett.*

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0,559
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	481,938
	GI	91
	Sig.	<0,001

Nota: Elaboración a partir de SPSS, 2024.

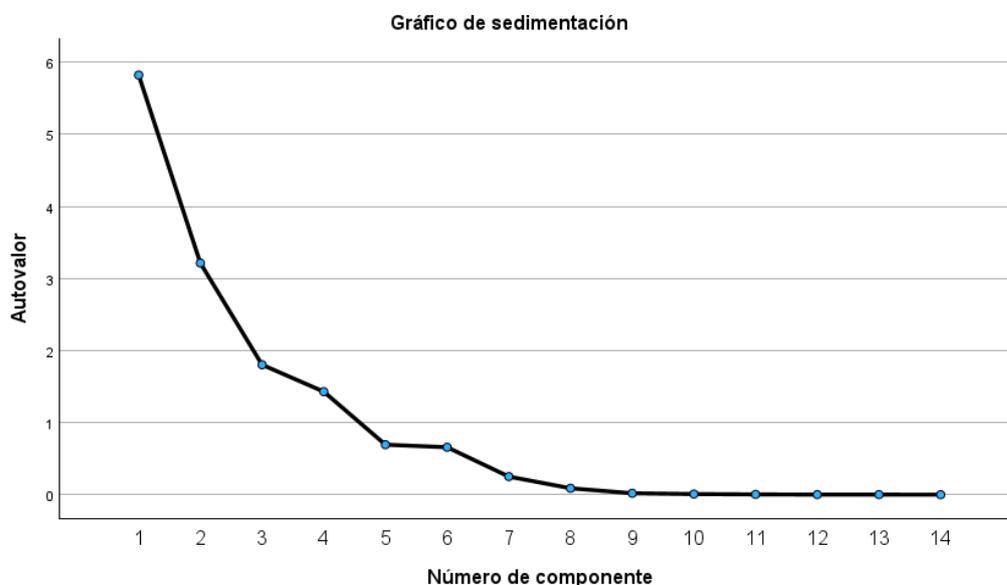
La prueba de KMO evalúa la adecuación del muestreo y determina la proporción de varianza en las variables que puede ser atribuida a factores comunes; los valores mayores a 0,5 son aceptables para la aplicación del ACP. En el presente estudio el valor de KMO fue de 0,559, por lo que fue considerado aceptable para este método. Por otro lado, la prueba de esfericidad de Bartlett determinó claramente que la matriz de correlación no es una matriz identidad y que las variables presentan una correlación significativa entre sí.

Luego de determinar las pruebas antes indicadas, se considera que el ACP es el método adecuado para la reducción significativa de las dimensiones de los datos.

Posteriormente, el ACP se aplicó a la base de datos agrupada de acuerdo con las 10 estaciones de monitoreo, utilizando el lenguaje de programación R, a través de su entorno de desarrollo integrado RStudio. Los resultados del ACP se obtuvieron a través de una matriz de correlación y los factores se extrajeron mediante el método del centroide. Posteriormente, se aplicó una rotación Varimax para facilitar la interpretación de los factores obtenidos.

Figura 8

Gráfico de sedimentación.



Nota: Elaboración propia a partir de SPSS, 2024.

En la Tabla 24 se presentan los valores propios para los distintos factores, junto con la varianza porcentual, la variación porcentual acumulada y los componentes cargados sin rotar; mientras que en la Tabla 25 se presentan los resultados con rotación Varimax. El ACP permitió explicar el 87,7% de la varianza del total de los datos. En el presente estudio se consideraron los valores superiores a 0,69 como factor relevante en cada componente.

Tabla 24*Análisis de componentes principales por método de extracción.*

Componente	Varianza total explicada								
	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado	Total	% varianza	% acumulado
1	5,824	41,601	41,601	5,824	41,601	41,601	5,034	35,955	35,955
2	3,215	22,963	64,564	3,215	22,963	64,564	2,963	21,162	57,118
3	1,803	12,880	77,444	1,803	12,880	77,444	2,373	16,952	74,070
4	1,430	10,213	87,657	1,430	10,213	87,657	1,902	13,587	87,657
5	0,694	4,956	92,612						
6	0,658	4,701	97,314						
7	0,251	1,792	99,106						
8	0,089	0,637	99,743						
9	0,020	0,140	99,883						
10	0,009	0,064	99,948						
11	0,004	0,028	99,976						
12	0,002	0,011	99,987						
13	0,001	0,010	99,997						
14	0,000	0,003	100,000						

Nota: Método de extracción (análisis de componentes principales).

De acuerdo con Belkhiri et al. (2010), para la elección de autovalores se otorga prioridad al factor con la suma más alta del eigenvector. Los autovalores reflejan la importancia de cada componente, y aquellos superiores a 1 son considerados significativos. Siguiendo ese criterio, únicamente se aceptaron como posibles fuentes de varianza en los datos los factores con autovalores mayores o iguales a 1. Los resultados del ACP mostraron que los primeros cuatro autovalores son mayores a 1, por lo que se consideraron significativos. En la Tabla 25 se observa que la mayor parte de la variación del total de los datos se explica por estos cuatro componentes.

Tabla 25

Matriz de componentes rotados.

Parámetro	Componente			
	1	2	3	4
DBO ₅	0,191	0,192	0,333	0,671
DQO	-0,063	0,049	0,061	0,814
OD	-0,279	0,258	0,824	0,135
CTT	0,088	0,027	0,921	0,277
P	-0,130	0,949	0,232	0,112
pH	-0,844	-0,011	0,303	-0,418
As	-0,270	0,019	0,692	-0,575
Al	0,312	0,938	0,014	0,066
Mn	0,775	0,379	-0,210	-0,227
Fe	0,401	0,897	0,064	0,072
Cd	0,946	0,069	-0,060	0,158
Pb	0,905	0,316	0,203	0,166
Cu	0,898	0,013	-0,095	0,113
Zn	0,853	0,145	-0,079	-0,221

Nota: Método de extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. La rotación ha convergido en 5 iteraciones.

En el ACP se utilizaron las variables DBO₅, DQO, OD, CTT, P, pH, As, Al, Mn, Fe, Cd, Pb, Cu y Zn. Analizando la representación gráfica de los componentes (Figura 8), junto con las variables que presentaron las mayores contribuciones a los ejes (eigenvalores >1), se identificaron cuatro componentes clave para interpretar estadísticamente las principales fuentes de contaminación que influyen en la calidad del agua en la cuenca del río Santa

Eulalia. Estos componentes, que se muestran en la Tabla 24, explican el 87.7% de la varianza total del ACP en modo R.

3.7.4 Determinación del grado de contaminación

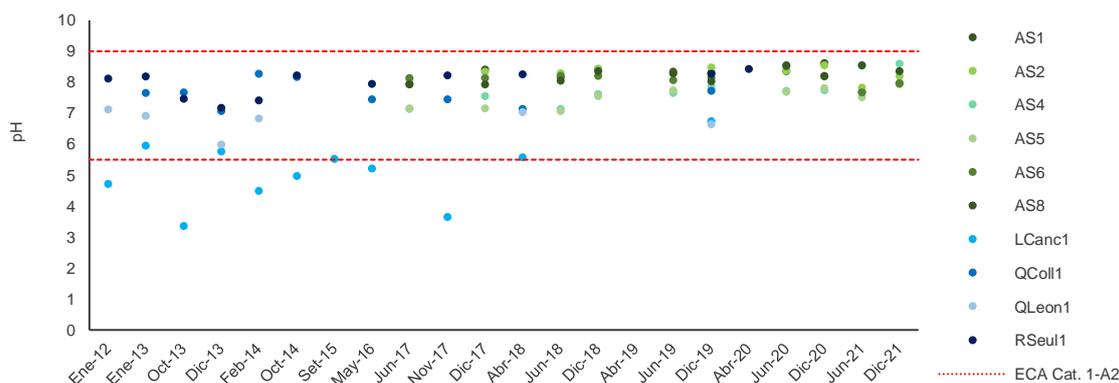
Análisis de resultados de los monitoreos de calidad de agua. Para la evaluación de las estaciones de monitoreo se emplearon los ECA para agua superficial (D.S. N° 004- 2017-MINAM); complementado por la "Clasificación de cuerpos de agua superficial y marino costero" aprobada por la R. J. N° 056-2018-ANA, la cual considera la cuenca de Santa Eulalia como, por tanto, todos los cuerpos de agua de la cuenca fueron comparados para uso poblacional, que pueden ser potabilizados con tratamiento convencional (Cat. 1-A2).

Parámetros de campo. Durante el periodo de evaluación se analizaron parámetros de campo como: potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. A continuación, se describe el comportamiento de cada uno de los parámetros mencionados.

Potencial de hidrógeno (pH). El pH se encontró en un rango ácido a alcalino, con valores que variaron entre 3,34 y 8,6, donde gran parte de los resultados cumplieron con el ECA Cat. 1-A2 (5,5 a 9,0). No obstante, se registraron seis valores que no cumplieron el ECA, los cuales fluctuaron entre 3,34 y 5,2. Todos estos resultados se presentaron en la estación LCanc1, y se deben a la influencia de PAM como relaveras, bocaminas y depósitos de desmonte, los cuales aportan flujos de aguas ácidas a la laguna Canchis.

Figura 9

Comportamiento de pH en la cuenca del río Santa Eulalia.

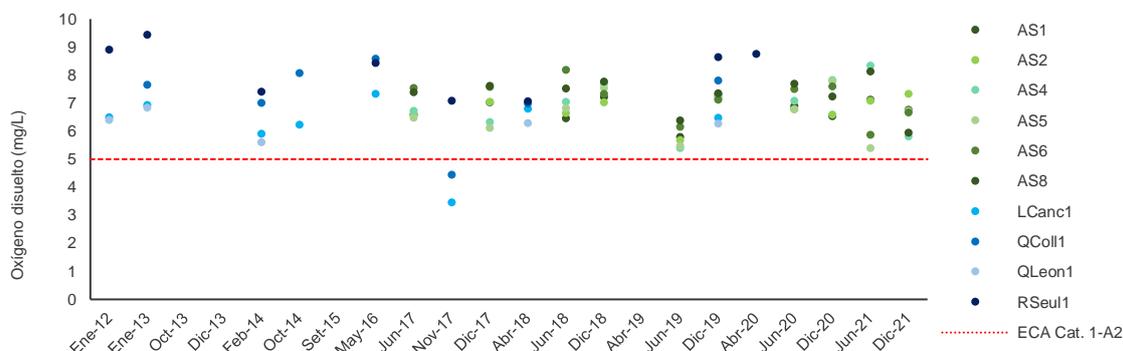


Nota: Elaborado a partir de resultados de monitoreo de calidad de agua entre el periodo 2012 al 2021.

Oxígeno disuelto. Los resultados de OD se registraron en su mayoría acorde al valor mínimo de los ECA Cat. 1-A2 (5 mg/L), salvo de dos excepciones; una muestra con 3,452 mg/L (LCanc1) y otra con 4,452 mg/L (QColl1), ambos monitoreos se realizaron en noviembre del 2017, y no cumplieron el ECA.

Figura 10

Comportamiento de oxígeno disuelto en la cuenca del río Santa Eulalia.



Nota: Elaborado a partir de resultados de monitoreo de calidad de agua entre el periodo 2012 al 2021.

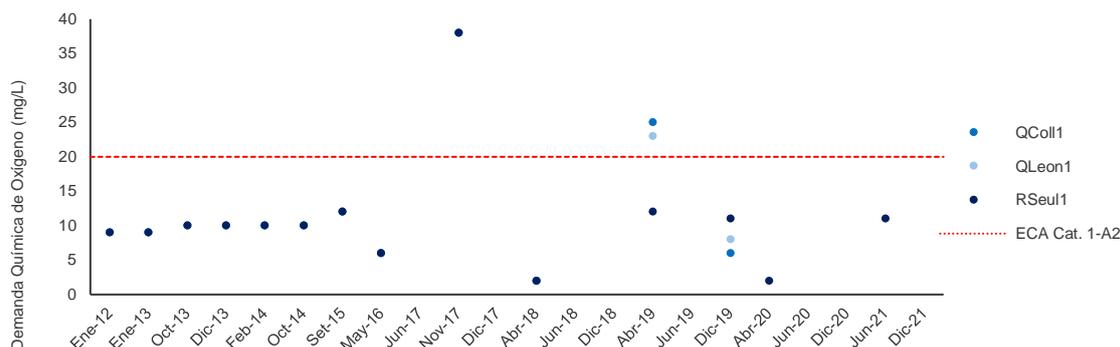
Conductividad eléctrica. Todos los registros se encontraron por debajo de los ECA Cat. 1 A2 (1 500 μ S/cm) registrando un valor máximo de 541 μ S/cm (abril 2020) en la estación RSeul1.

Parámetros fisicoquímicos. Durante el periodo de evaluación se analizaron parámetros fisicoquímicos como: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), aceites y grasas, y Sólidos Disueltos Totales (SDT). Cabe precisar que la mayoría de los resultados de DBO_5 y aceites y grasas registraron concentraciones inferiores al límite de detección (L.D) y al ECA Cat 1-A2; en tanto, los SDT reportaron valores muy por debajo del ECA Cat 1-A2 en todos los resultados. A continuación, se describen los parámetros que registraron concentraciones por encima del estándar de comparación.

Demanda química de oxígeno (DQO). Los valores de DQO se registraron en su mayoría por debajo de los ECA Cat. 1 A2 (20 mg/L). Sin embargo, hubo cuatro registros que excedieron este límite, los cuales oscilaron entre 23 mg/L y 38 mg/L (QLeon1, QColl1 y RSeul1) registrados durante los años 2017 y 2019.

Figura 11

Comportamiento del DQO en la cuenca del río Santa Eulalia.



Nota: Elaborado a partir de resultados de monitoreo de calidad de agua entre el periodo 2012 al 2021.

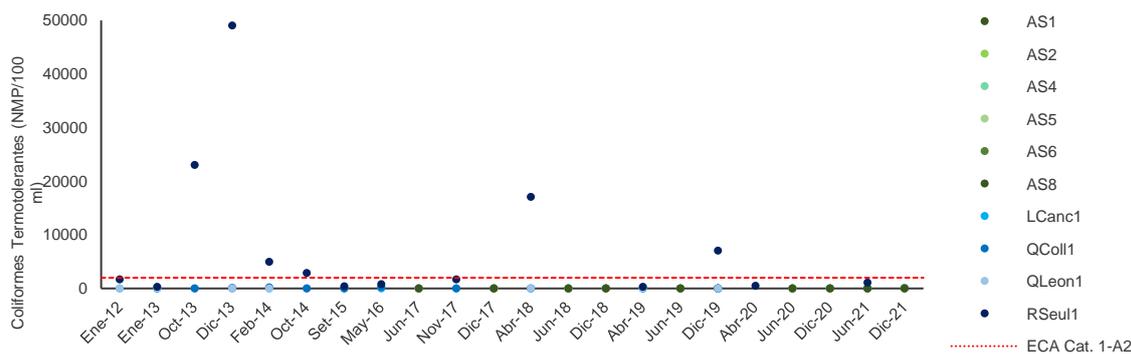
Parámetros orgánicos. En la presente investigación no se emplearon registros de parámetros orgánicos.

Parámetros microbiológicos. Durante el periodo evaluado se analizaron los parámetros: coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*; sin embargo, debido a la ausencia de datos, para la presente investigación solo se emplearán los coliformes termotolerantes.

Coliformes termotolerantes. La mayoría de los resultados de este parámetro estuvieron por debajo del límite establecido por los ECA Cat 1-A2 (2 000 NMP/100mL), con excepción de seis registros que se reportaron en la estación RSeul1, los cuales variaron entre 2 800 NMP/100mL y 49 000 NMP/100mL. Estos valores registrados por encima del ECA estarían influenciados por fuentes contaminantes de actividades domésticas (botaderos y aguas residuales domésticas) alrededores del río Santa Eulalia.

Figura 12

Comportamiento de CT en la cuenca del río Santa Eulalia.



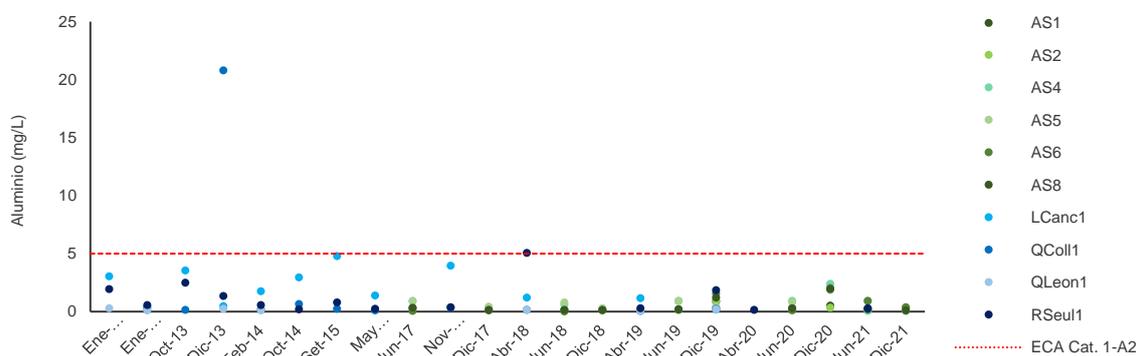
Nota: Elaborado a partir de resultados de monitoreo de calidad de agua entre el periodo 2012 al 2021.

Metales totales. Los metales totales que registraron concentraciones por debajo de los ECA Cat 1-A2 fueron: antimonio, bario, berilio, boro, cobre, cromo total, mercurio, níquel, selenio, uranio y zinc. A continuación, se describen los resultados de los metales que registraron concentraciones superiores a los estándares de comparación establecidos.

Aluminio. Durante el periodo evaluado, la mayoría de las concentraciones de aluminio total estuvieron por debajo de los ECA Cat. 1-A2 (5 mg/L), a excepción de dos registros 5,07 mg/L (RSeul1, abril 2018) y 20,78 mg/L (QColl1, diciembre 2013), en los cuales se sobrepasaron los estándares de comparación.

Figura 13

Comportamiento del Aluminio en la cuenca del río Santa Eulalia.

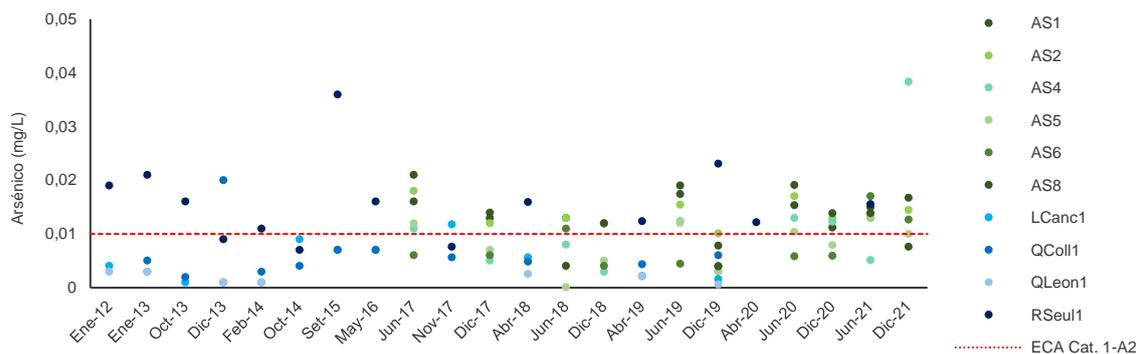


Nota: Elaborado a partir de resultados de monitoreo de calidad de agua entre el periodo 2012 al 2021.

Arsénico. Durante el periodo evaluado, gran parte de los registros de arsénico total (54 registros) en nueve de las 10 estaciones analizadas superaron el límite establecido por los ECA Cat. 1 A2 (0,01 mg/L), con excepción de la estación Qleon1, la cual no presenta fuentes contaminantes en su recorrido. Las excedencias antes mencionadas, podrían deberse a la influencia de los PAM y a la geología de la zona, estos variaron entre 0,0101 mg/L y 0,0383 mg/L.

Figura 14

Comportamiento del Arsénico en la cuenca del río Santa Eulalia.

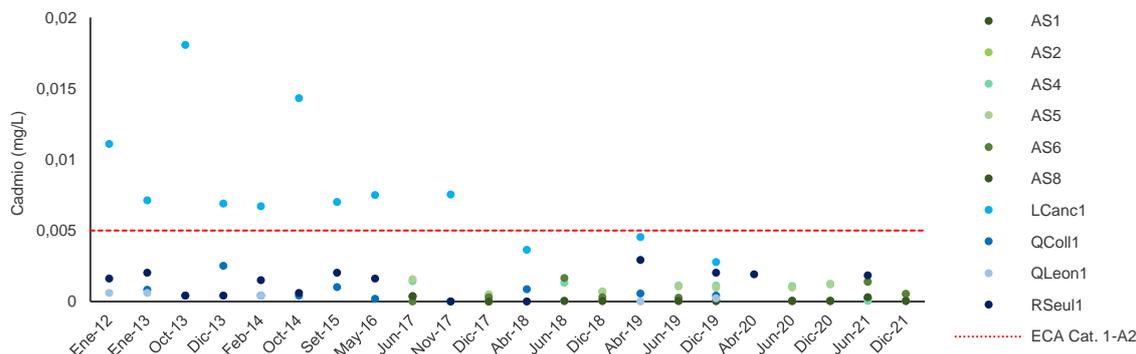


Nota: Elaborado a partir de resultados de monitoreo de calidad de agua entre el periodo 2012 al 2021.

Cadmio. Durante el periodo de evaluación, en los cuerpos de agua con movimientos como ríos y quebradas (lénticos), todos los valores de cadmio total estuvieron por debajo de los ECA Cat 1-A2 (0,005 mg/L). No obstante, la estación de monitoreo LCanc1, ubicada a la salida de la laguna Canchis, reportó nueve concentraciones que superaron el límite establecido por los ECA Cat.1-A2 (empleado de manera referencial), con valores que oscilaron entre 0,0067 mg/L y 0,0181 mg/L.

Figura 15

Comportamiento del Cadmio en la cuenca del río Santa Eulalia.

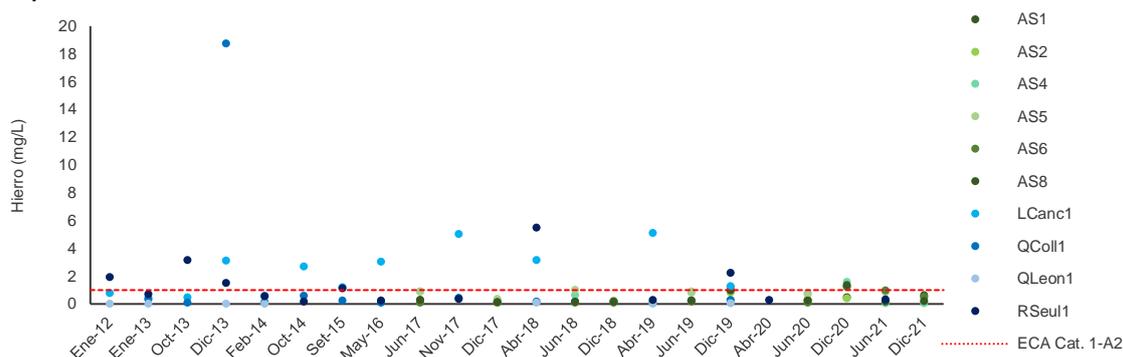


Nota: Elaborado a partir de resultados de monitoreo de calidad de agua entre el periodo 2012 al 2021.

Hierro. En el periodo de evaluación, se registraron 20 casos en los que las concentraciones de hierro total superaron el límite establecido por los ECA Cat 1 A2 (1 mg/L). Estos valores fluctuaron entre 18,746 mg/L (Qcoll1, diciembre 2013) y 1,117 mg/L (RSeul1, setiembre 2015). Cabe resaltar que la mayoría de estas excedencias se registraron en temporada húmeda, por lo que estarían influenciadas por el transporte de contaminantes provenientes de los PAM y el aumento de arrastre de sedimentos.

Figura 16

Comportamiento del Hierro en la cuenca del río Santa Eulalia.

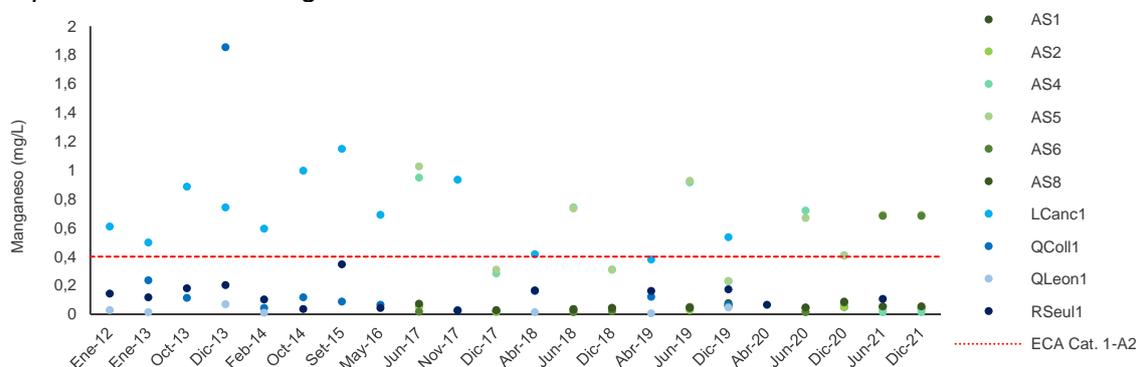


Nota: Elaborado a partir de resultados de monitoreo de calidad de agua entre el periodo 2012 al 2021.

Manganeso. Durante el periodo de evaluación, la mayoría de los puntos de monitoreo ubicados en la cuenca alta (LCanc1, QColl1, AS4, AS5 y AS6) registraron concentraciones superiores a los límites establecidos en los ECA Cat. 1-A2 (0,4 mg/L). Esto podría explicarse por la influencia de pasivos ambientales que se encuentran en la quebrada Conay (QColl1, AS5 y AS6), Quebrada Huasca y río Suncha (AS4) y la laguna Canchis (LCanc1) afectada por una relavera abandonada. Los valores que sobrepasaron los ECA se encontraron entre 0,4041 mg/L y 1,8517 mg/L, y se registraron tanto en la temporada seca como húmeda.

Figura 17

Comportamiento del Manganeso en la cuenca del río Santa Eulalia.



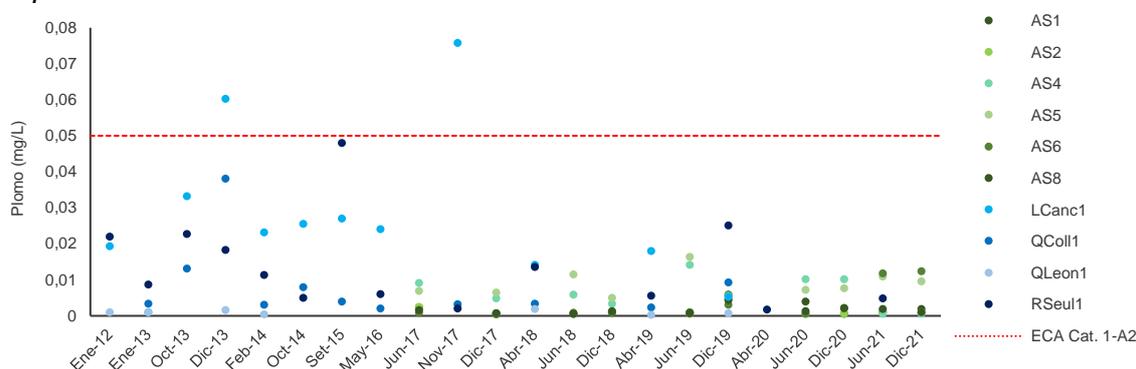
Nota: Elaborado a partir de resultados de monitoreo de calidad de agua entre el periodo 2012 al 2021.

Plomo. Durante el periodo de evaluación, en los cuerpos de agua lénticos (ríos y quebradas), todos los valores de plomo total se mantuvieron por debajo de los ECA Cat-1 A2 (0,05 mg/L). Por otro lado, en la estación LCanc1 ubicada en la salida de la laguna Canchis, se reportaron dos concentraciones que superaron el ECA Cat.1-A2 (empleo de

manera referencial), las cuales fluctuaron de 0,0603 mg/L (diciembre 2013) a 0,0758 mg/L (noviembre 2017).

Figura 18

Comportamiento del Plomo en la cuenca del río Santa Eulalia.



Nota: Elaborado a partir de resultados de monitoreo de calidad de agua entre el periodo 2012 al 2021.

Determinación de la Calidad del Agua mediante el índice ICARHS. El cálculo del índice de calidad del agua se realizó con información histórica, considerando como mínimo dos muestreos en temporada húmeda y dos en temporada seca, por cada estación. Los parámetros evaluados se agruparon según su naturaleza: materia orgánica y fisicoquímico (Tabla 26), y se consideró a su vez la clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales (R. J. N° 056-2018-ANA).

Tabla 26

Parámetros empleados según su categoría

Subíndice	Parámetro	Categoría 1-A2
Materia orgánica	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	5
	Demanda química de oxígeno (DQO)	20
	Oxígeno disuelto (valor mínimo)	≥ 5
	Coliformes termotolerantes	2 000
	Fósforo total	0,15
	Amoníaco - N	1,5
Fisicoquímico (metal)	Potencial de hidrógeno (pH)	5,5 – 9,0
	Arsénico	0,01
	Aluminio	5
	Manganeso	0,4
	Hierro	1
	Cadmio	0,005
	Plomo	0,05

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 27 se presentan los datos que se utilizaron para obtener los factores alcance (F1), frecuencia (F2) y amplitud (F3) para el cálculo de los subíndices S1 y S2, en las 10 estaciones evaluadas durante el periodo de evaluación. El cálculo detallado de los ICARHS se encuentra desarrollado en el Anexo 4.

Tabla 27

Determinación de subíndices

Estación	Subíndice 1 (S1)				Subíndice 2 (S2)			
	F1	F2	F3	Valor	F1	F2	F3	Valor
AS1	0,00	0,00	0,00	100,00	14,29	12,86	5,56	88,45
AS2	0,00	0,00	0,00	100,00	14,29	14,29	5,14	87,96
AS4	0,00	0,00	0,00	100,00	42,86	15,71	10,91	72,90
AS5	0,00	0,00	0,00	100,00	28,57	18,57	8,89	79,67
AS6	0,00	0,00	0,00	100,00	28,57	10,00	4,00	82,37
AS8	0,00	0,00	0,00	100,00	28,57	11,43	6,00	81,90
LCanc1	20,00	2,27	1,01	88,36	85,71	44,58	30,61	41,48
QColl1	40,00	8,00	8,55	75,94	57,14	5,33	25,40	63,76
QLeon1	20,00	3,13	0,47	88,31	0,00	0,00	0,00	100,00
RSant1	40,00	12,50	42,26	65,64	42,86	18,95	16,12	71,39

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 28 se presenta los resultados del ICARHS para cada uno de los puntos de monitoreo evaluados, donde se obtiene el valor nominal y la calificación.

Tabla 28

Resultados del ICARHS

Estación	ICARHS mín (S1, S2)	
	Valor	Calificación
AS1	88,45	Bueno
AS2	87,96	Bueno
AS4	72,90	Regular
AS5	79,67	Regular
AS6	82,37	Bueno
AS8	81,90	Bueno
LCanc1	41,48	Pésimo
QLeon1	88,31	Bueno
QColl1	63,76	Malo
RSant1	65,64	Regular

Nota: Elaboración propia.

Las estaciones ubicadas en la parte alta del río Santa Eulalia (AS1, AS2, AS4, AS5, AS6, AS8 y LCanc1) presentan gran influencia del Subíndice 2 (S2), donde algunos

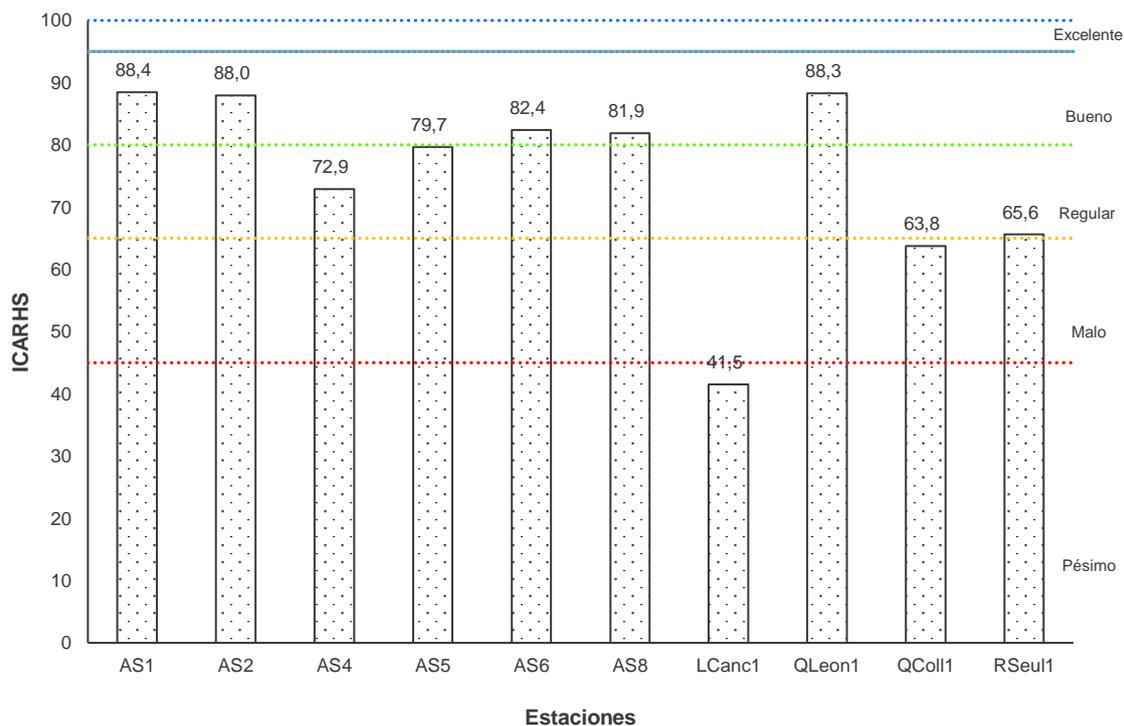
parámetros de calidad excedieron el ECA agua Cat. 1–A2. Estos parámetros incluyen pH, arsénico, hierro, cadmio y manganeso.

Por otro lado, las estaciones (QLeon1, QColl1 y RSant1), muestran una mayor influencia de materia orgánica (Subíndice 1) con respecto al S2, excediendo el ECA en los parámetros coliformes termotolerantes y DQO.

En la Figura 19 se muestran los resultados del ICARHS de manera gráfica, los cuales variaron entre pésimo y bueno.

Figura 19

Resultados ICARHS en la cuenca del río Santa Eulalia.



Nota: Elaboración propia.

Los resultados del cálculo del ICARHS muestran que la estación LCan1 presentó una calidad Pésima; en tanto, la estación QColl1 presentó una calidad Mala. Por otro lado, las estaciones AS4, AS5 y RSeul1, presentaron una calidad Regular; mientras que las estaciones restantes, QLeon1, AS1, AS2, AS6 y AS8, presentaron una Buena calidad.

Determinación de los índices de metales pesados. La calidad del agua en el área de estudio se analizó empleando diversos índices de evaluación de contaminación

(HPI, HEI y Cd). Cada índice representa distintas maneras de medir los niveles de riesgo. Para el cálculo del Índice de Contaminación de Metales Pesados (HPI), se utilizaron los valores de la Concentración Máxima Admisible (MAC) para metales pesados según el estándar establecido por la OMS.

En la presente investigación se asume que el peso unitario o importancia del contaminante (W_i) para cada uno de los metales pesados evaluados es inversamente proporcional a su Concentración Máxima Admisible (MAC) (ver Tabla 29).

Tabla 29

Valores estándar empleados para el cálculo de los índices de contaminación.

Parámetro	W	S	MAC
As	100,00	0,010	0,010
Cd	200,00	0,005	0,003
Cu	0,50	2,000	2,000
Fe	1,00	1,000	0,300
Mn	2,50	0,400	0,400
Pb	20,00	0,050	0,010
Zn	0,20	5,000	3,000

Nota: W: Peso (1/MAC), S: ECA agua Cat. 1-A2 en µg/L, MAC: concentración máxima permitido.

De las 104 muestras evaluadas, las concentraciones de Cu y Zn estuvieron por debajo de la MAC para agua potable, mientras que las concentraciones de As (54 muestras), Cd (11 muestras), Fe (51 muestras), Mn (26 muestras) y Pb (29 muestras) superaron la MAC. En el Anexo 5 se presente el cálculo detallado de cada uno de los tres índices.

Estos resultados indicaron la presencia de concentraciones de metales pesados en las muestras de agua que fueron analizadas en este estudio durante el periodo 2012 al 2021. Las concentraciones As, Cd, Fe, Mn y Pb variaron entre: 0,0001 – 0,0383; 0,00001 – 0,01807; 0,014 – 18,746; 0,00578 – 1,8517 y 0,0002 – 0,0758 mg/L, respectivamente.

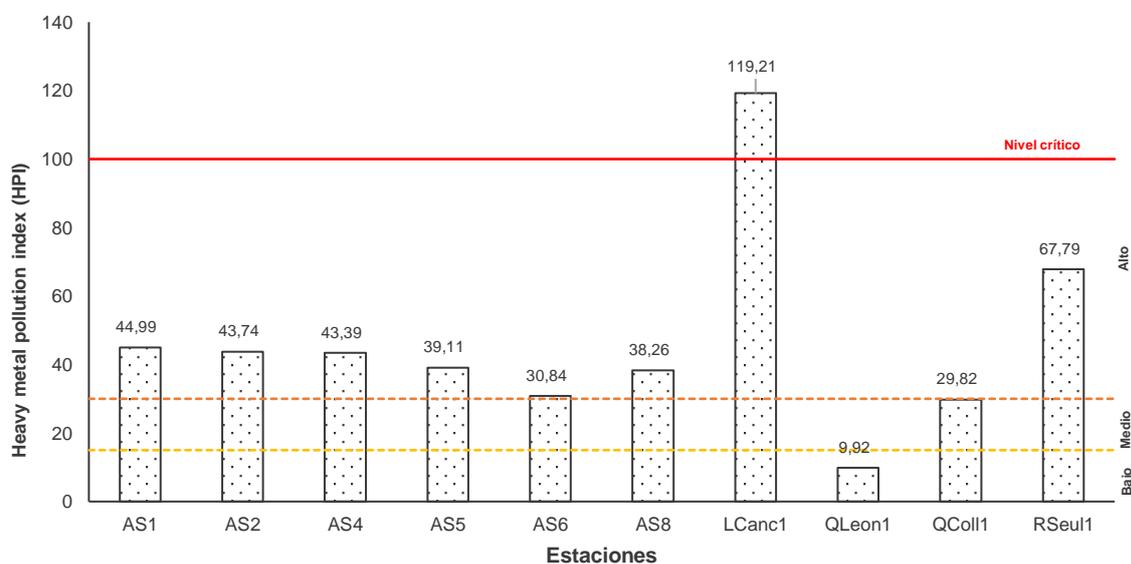
Para calcular el HPI, se tuvieron en cuenta las concentraciones de los metales seleccionados (As, Cu, Cd, Fe, Mn, Zn y Pb). El HPI para las 104 muestras evaluadas dentro del área de estudio se calculó utilizando los valores promedio de concentración de todos los metales seleccionados.

Tabla 30*Resultados del HPI, HEI y Cd.*

Estación	HPI	Clasificación	HEI	Clasificación	Cd	Clasificación
AS1	44,99	Bajo	1,92	Medio	0,50	Bajo
AS2	43,74	Bajo	1,74	Medio	0,37	Bajo
AS4	43,39	Medio	2,97	Alto	0,77	Bajo
AS5	39,11	Bajo	3,45	Alto	1,63	Bajo
AS6	30,84	Bajo	1,90	Medio	0,47	Bajo
AS8	38,26	Bajo	1,75	Medio	0,41	Bajo
LCanc1	119,21	Alto	6,97	Alto	10,65	Alto
QLeon1	9,92	Bajo	0,37	Bajo	0,00	Bajo
QColl1	29,82	Medio	3,56	Alto	5,42	Alto
RSant1	67,79	Medio	3,84	Alto	4,33	Medio

Nota: Elaboración propia.

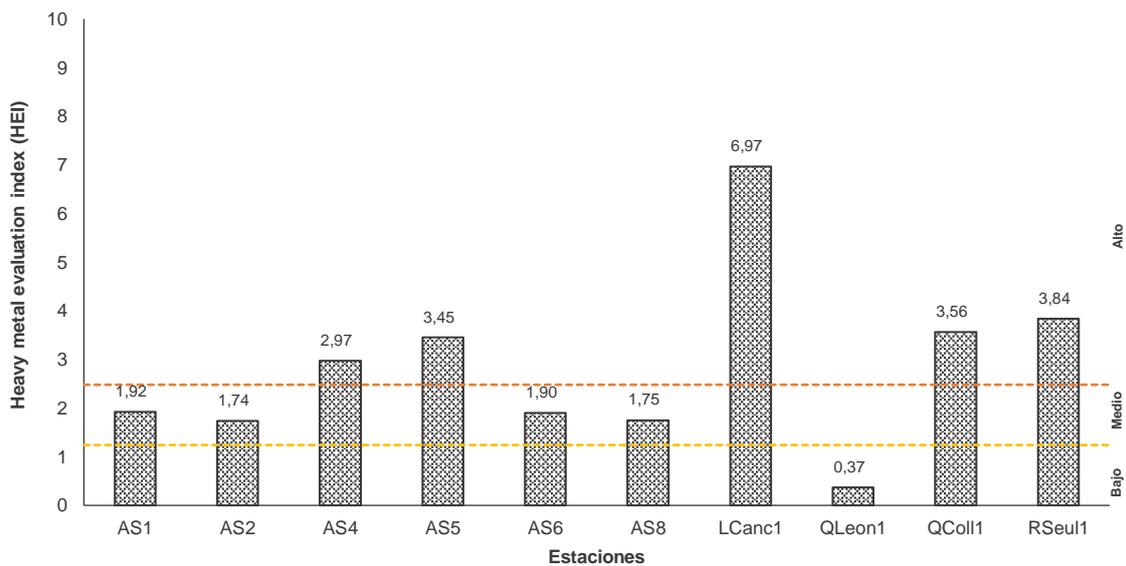
El HPI para 10 estaciones en el área de estudio se determinó utilizando las concentraciones promedio de los metales pesados. Los valores del HPI variaron entre 9,92 y 119,21; mientras que el HPI medio para todas las muestras se calcula en 54,66. Lo cual está significativamente por debajo del valor crítico del índice de contaminación de 100, a excepción de la estación LCanc1 la cual registró un valor por encima de 100, representando un alto riesgo a la salud pública. En todos los otros casos, el HPI medio se encuentra muy por debajo del valor permisible de 100 propuesto para el agua potable por Mohan et al. (1996).

Figura 20*Resultados HPI.**Nota:* Elaboración propia.

Para entender los resultados del HPI, los valores se dividen en tres categorías que distinguen los distintos niveles de contaminación: bajo, medio y alto. Los valores de HPI se calcularon para cada estación de monitoreo. Al utilizar los valores escalados de HPI, se encontró que el 80% de las estaciones se clasificaron con niveles de contaminación altos (nivel de riesgo alto) y el 10% con niveles de contaminación medios (nivel de riesgo medio) y el 10% restante con niveles de contaminación bajos.

Figura 21

Resultados de Evaluación de Metales Pesados (HEI).



Nota: Elaboración propia.

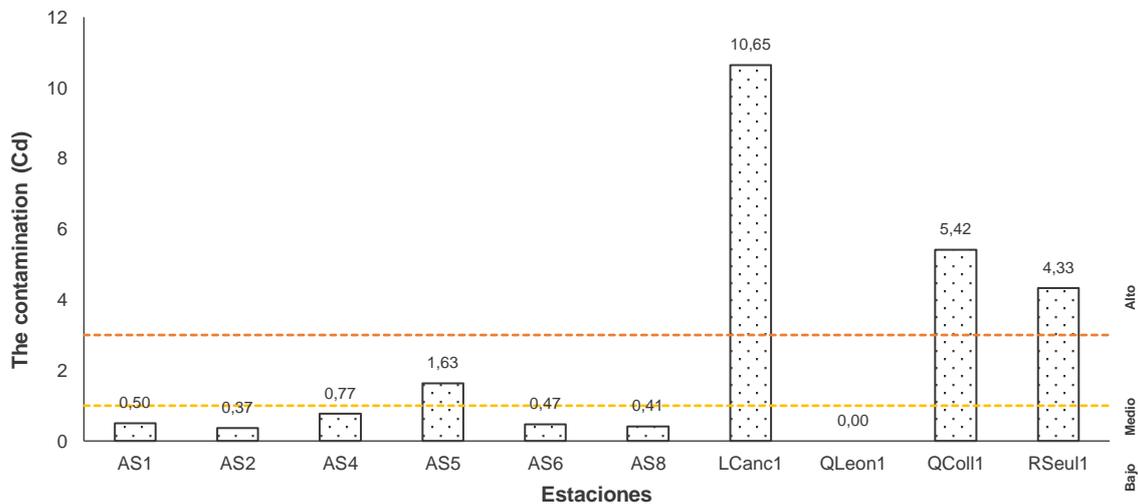
El Índice de Evaluación de Metales Pesados (HEI) es otro índice utilizado para evaluar la contaminación causada por metales pesados. Generalmente, este índice proporciona una evaluación integral de la posible contaminación del agua debido a la presencia de estos metales. Los valores del HEI en las estaciones evaluadas variaron entre 0,37 y 6,97, con un valor promedio de 3,26.

De acuerdo con Edet y Offiong (2002), los valores calculados del HEI se clasificaron en niveles de contaminación bajos, medios y altos. Según Dorji y Chopel (2023), los criterios propuestos para clasificar el HEI son los siguientes: bajo (<1,24), medio (1,24 a 2,48) y alto (>2,48).

Con base en esta escala del HEI, en la temporada húmeda, las estaciones se clasificaron como sigue: una estación con un nivel de contaminación bajo, cuatro estaciones con niveles medios (nivel de riesgo medio) y cinco estaciones con niveles altos (nivel de riesgo alto).

Figura 22

Resultados del grado de contaminación (Cd).



Nota: Elaboración propia.

El grado de contaminación (Cd) indica los efectos generales, es decir, si el nivel de contaminación de cada contaminante o parámetro de calidad del agua es bajo, medio o alto. Para determinar el grado de contaminación (Cd), generalmente se considera un resumen de los efectos combinados de varios parámetros de calidad que se consideran perjudiciales para el agua doméstica (Islam et al., 2016). Se calcularon los valores de Cd para cada estación de muestreo. En las estaciones evaluadas, el rango de Cd varió entre 0,00 y 10,65, con un valor promedio de 2,24.

La clasificación de los resultados de este índice puede dividirse en tres categorías: bajo (<1), medio (1-3) y alto (>3). Por lo tanto, un índice de contaminación que supera 3 sugiere que el agua está muy contaminada (Edet & Offiong, 2002). En esta investigación, los valores de Cd indican que la concentración de metales pesados en las muestras de agua varía de baja a alta contaminación, donde seis estaciones fueron clasificadas con contaminación baja, una con contaminación media y tres con contaminación alta.

Tabla 31*Análisis de correlación de los índices de contaminación*

Parámetro	HPI	HEI	Cd	ICARHS
As	0,08	-0,11	-0,29	0,26
Cd	0,90	0,87	0,89	-0,87
Cu	0,89	0,82	0,86	-0,81
Fe	0,69	0,89	0,96	-0,94
Mn	0,61	0,82	0,65	-0,72
Pb	0,89	0,96	0,94	-0,94
Zn	0,68	0,84	0,66	-0,73
HPI	1,00	0,89	0,82	-0,81
HEI	0,89	1,00	0,93	-0,94
Cd	0,82	0,93	1,00	-0,96
ICARHS	-0,81	-0,94	-0,96	1,00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 32*Evaluación estadística de los índices de contaminación.*

Parámetro	HPI		HEI		Cd	
	Desviación media	%	Desviación media	%	Desviación media	%
AS1	-9,67	-17,69	-1,34	-41,10	-1,74	-77,68
AS2	-10,92	-19,98	-1,52	-46,63	-1,87	-83,48
AS4	-11,27	-20,62	-0,29	-8,90	-1,47	-65,63
AS5	-15,55	-28,45	0,19	5,83	-0,61	-27,23
AS6	-23,82	-43,58	-1,36	-41,72	-1,77	-79,02
AS8	-16,4	-30,00	-1,51	-46,32	-1,83	-81,70
LCanc1	64,55	118,09	3,71	113,80	8,41	375,45
QLeon1	-44,74	-81,85	-2,89	-88,65	-2,24	-100,00
QColl1	-24,84	-45,44	0,3	9,20	3,18	141,96
RSant1	13,13	24,02	0,58	17,79	2,09	93,30

Nota: Elaboración propia.

Tabla 33*Reclasificación de la calidad del agua.*

Índice	Clasificación	Nivel	N° Estaciones	%	Estaciones
HPI	<50	Bajo	8	80	AS1, AS2, AS4, AS5, AS6, AS8, QLeon1, QColl1
	50-100	Medio	1	10	RSant1
	>100	Alto	1	10	LCanc1
Cd	<2,5	Bajo	7	70	AS1, AS2, AS4, AS5, AS6, AS8, QLeon1
	2,5-5	Medio	1	10	RSant1
	>5	Alto	2	20	QColl1, LCanc1
HEI	<3,5	Bajo	7	70	AS1, AS2, AS4, AS5, AS6, AS8, QLeon1
	3,5-7	Medio	2	20	QColl1, RSant1
	>7	Alto	1	10	LCanc1

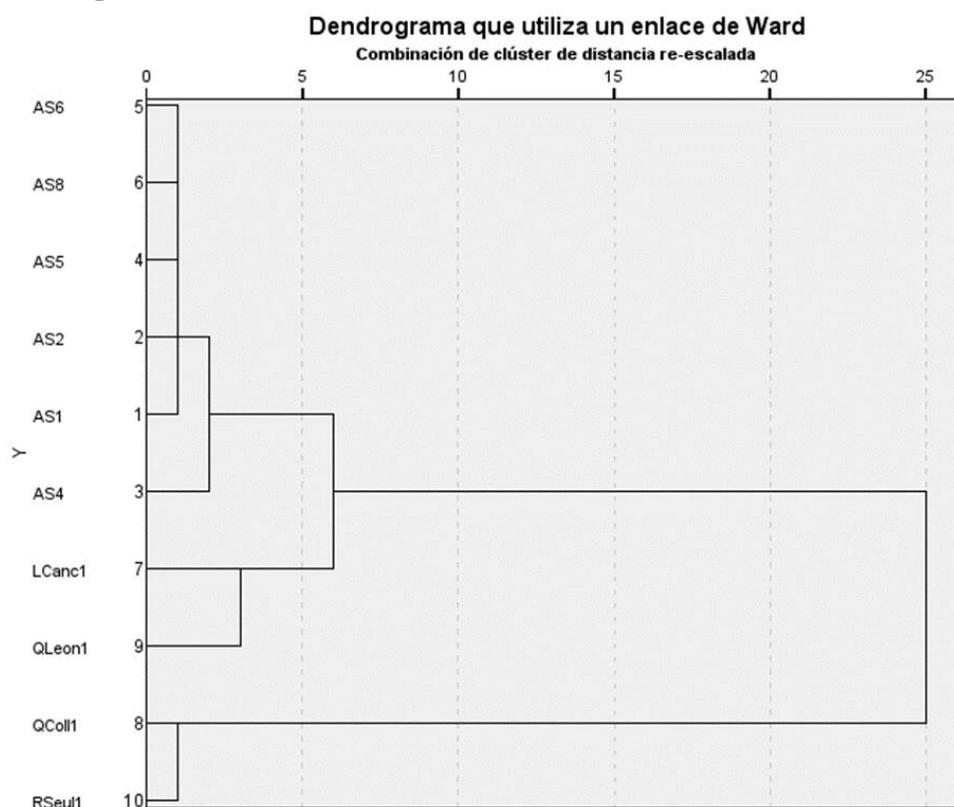
Nota: Elaboración propia.

Análisis de Conglomerados Jerárquico (ACJ). El análisis de conglomerados jerárquico (ACJ) fue ejecutado en el lenguaje de programación R, mediante el entorno de desarrollo integrado RStudio, en tanto, la base de datos, cuyas variables fueron las 10 estaciones de monitoreo seleccionadas en el presente estudio, fue elaborada en el software Microsoft Excel.

El ACJ aplicado a la base de datos de calidad de agua de las estaciones de monitoreo seleccionadas permitió identificar cuatro principales clústeres: C1, C2, C3 y C4. El primer clúster (C1) agrupó estaciones ubicadas en la parte alta de la cuenca, las cuales mostraron influencia de procesos geogénicos y de actividades mineras. El C2 incluyó solo a la estación LCan1, presentando concentraciones de metales pesados por encima del ECA-agua; mientras que el C3 no superaron los ECA-Agua y no mostraron influencia de factores geogénicos o antropogénicos. Por último, el C4 mostró gran influencia de fuentes de contaminación por materia orgánica (vertimientos y residuos sólidos).

Figura 23

Dendrograma entre estaciones monitoreadas en el río Santa Eulalia.



Nota: Elaboración propia.

3.7.5 Evaluación ambiental del estado del bofedal Milloc

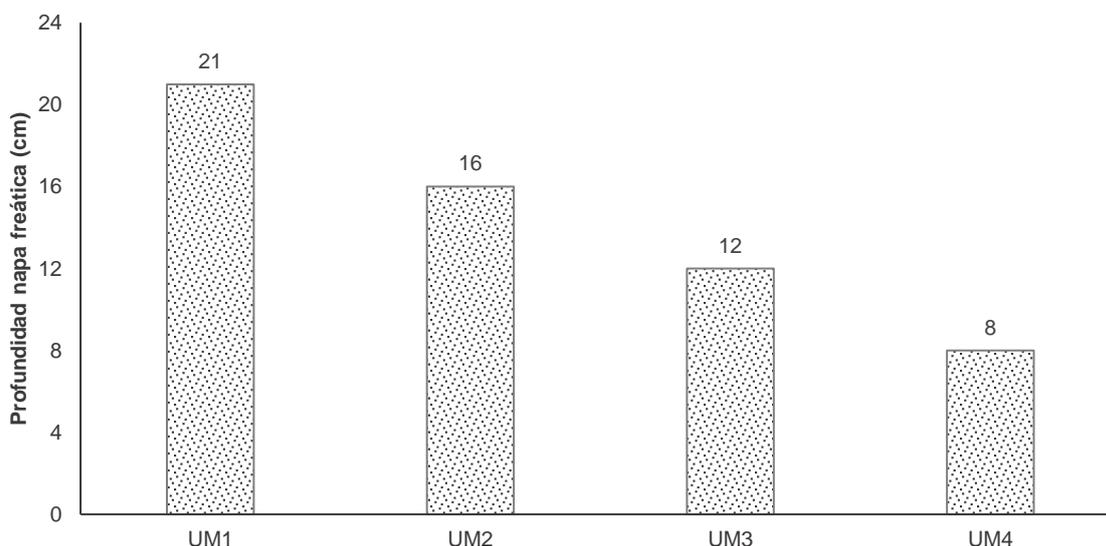
El trabajo de campo se realizó el 13 y 14 de enero del 2024, las fichas de campo se presentan en el Anexo 6, el panel fotográfico en el Anexo 7 y los informes de resultados de laboratorio se presentan en el Anexo 8.

Condición del agua. Para el desarrollo de este indicador, se determinó la conductividad eléctrica y el nivel freático en cada unidad muestral propuesta dentro del bofedal Milloc.

Nivel de la napa freática. Para medir la profundidad de napa freática se realizó la medición con una wincha, obteniéndose los siguientes registros: En la UM₄ se registró el valor más superficial (8 cm), evidenciándose que el agua estaba muy cerca al nivel del terreno. Por otro lado, la UM₁ mostró el valor más alto, alcanzando los 21 cm. En la Figura 24 se muestran los resultados.

Figura 24

Nivel de la napa freática en las unidades muestrales.

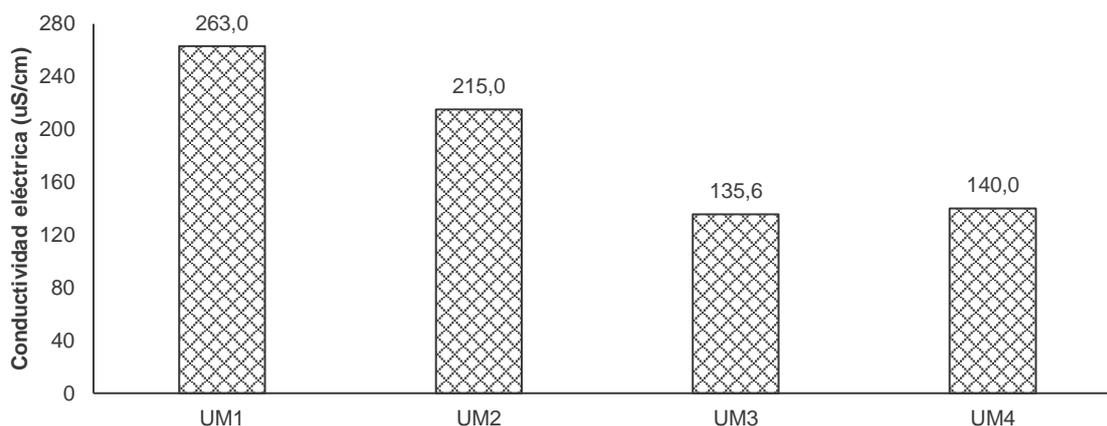


Nota: Elaboración propia.

Conductividad eléctrica. Las lecturas rectificadas de conductividad eléctrica se muestran en la Figura 25, reflejando que estas aguas tienen un riesgo bajo de salinidad. La UM₁ registró el mayor valor de conductividad con 263 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por otro lado, el valor más bajo se registró en la UM₃, con 135,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 25

Conductividad eléctrica en las unidades muestrales.



Nota: Elaboración propia.

Condición del suelo del bofedal. Para analizar la condición del suelo del bofedal Milloc, se presentan los resultados para los siguientes indicadores: profundidad de turba, materia orgánica, densidad aparente y signos de erosión del suelo, en cada unidad muestral del bofedal (UM₁, UM₂, UM₃ y UM₄).

Tabla 34

Resultado de los indicadores de condición de suelo

Unidad muestral	Coordenadas UTM WGS84		Altitud (msnm)	Profundidad de turba (cm)	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Signos de erosión
	Este (m)	Norte (m)					
UM ₁	352 523	8 720 353	4 342	100	59.44	0.09	D
UM ₂	352 475	8 720 241	4 339	106	71.92	0.14	C
UM ₃	351 917	8 719 537	4 337	30	74.10	0.17	B
UM ₄	352 136	8 719 618	4 340	58	61.88	0.12	B

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 34 se presentan los resultados de cada uno de los indicadores evaluados. Respecto a la profundidad de turba la UM₂ tiene el valor máximo de profundidad de la turba con 106 cm, siendo esta la mayor profundidad alcanzada. Asimismo, se observa un valor máximo de materia orgánica del 74,1 % en la UM₃, y un valor máximo de densidad aparente de 0,17 g/cm³ también en la UM₃. Por otra parte, las UM₃ y UM₄ tienen valores mínimos de profundidad de la turba 30 cm y 58 cm, respectivamente. En cuanto a la materia orgánica, el valor mínimo es de 59.44 % y la densidad aparente mínima es de 0,09 g/cm³, ambos correspondientes a la UM₁.

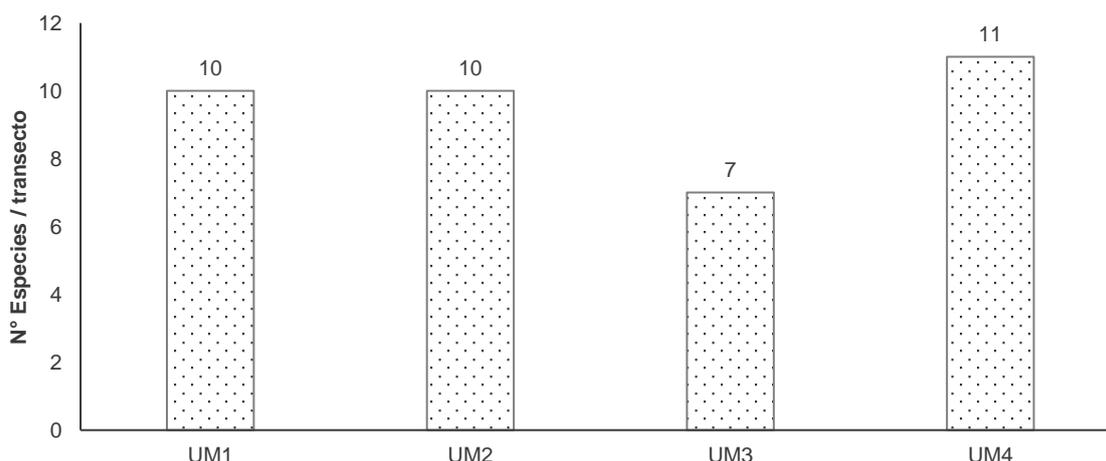
Por último, en lo que respecta a los signos de erosión, se evidencia que la UM₁ y UM₂ se encuentran en el rango de erosión D y C, respectivamente. Estos rangos representan signos de erosión profunda a severa, debido a la presencia de surcos y depresiones profundas; mientras que la UM₃ y UM₄ están en el rango B de erosión, la cual implica signos de erosión en menos del 25% del área y pocas evidencias de alteraciones en la superficie.

Condición de la biota del bofedal. Para determinar la condición de la biota del bofedal, se calculó el % de especies nativas, riqueza de especies, % de cobertura vegetal viva y biomasa aérea en cada unidad muestral.

Riqueza de especies. Este indicador varió entre 7 especies/transecto (UM₃) y 11 especies/transecto (UM₄). En tanto, las unidades muestrales UM₁ y UM₂ registraron 10 especies/transecto. En el Anexo 9 se presenta mayores detalles de las especies identificadas.

Figura 26

Riqueza de especies en las unidades muestrales.

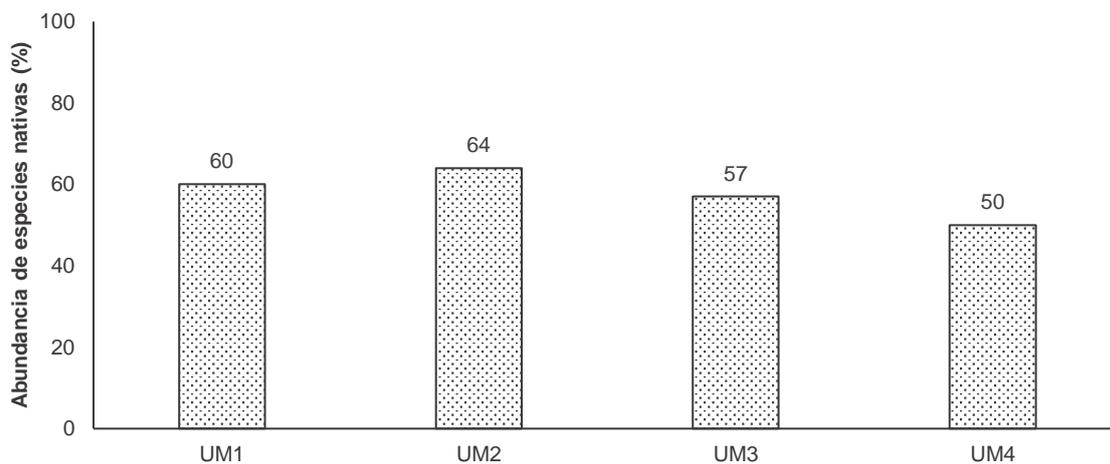


Nota: Elaboración propia.

Abundancia de especies nativas. El porcentaje de especies nativas se encontró entre 50% (UM₄), cinco especies nativas y cinco especies no nativas, y 64% (UM₂), siete especies nativas y cuatro especies no nativas; mientras que la unidad muestral 3 (UM₃) fue de 57%, cuatro especies nativas y tres especies no nativas, y 60% en la unidad muestral 1 (UM₁), cuatro especies nativas y seis especies no nativas.

Figura 27

Porcentaje de especies nativas en las unidades muestrales.

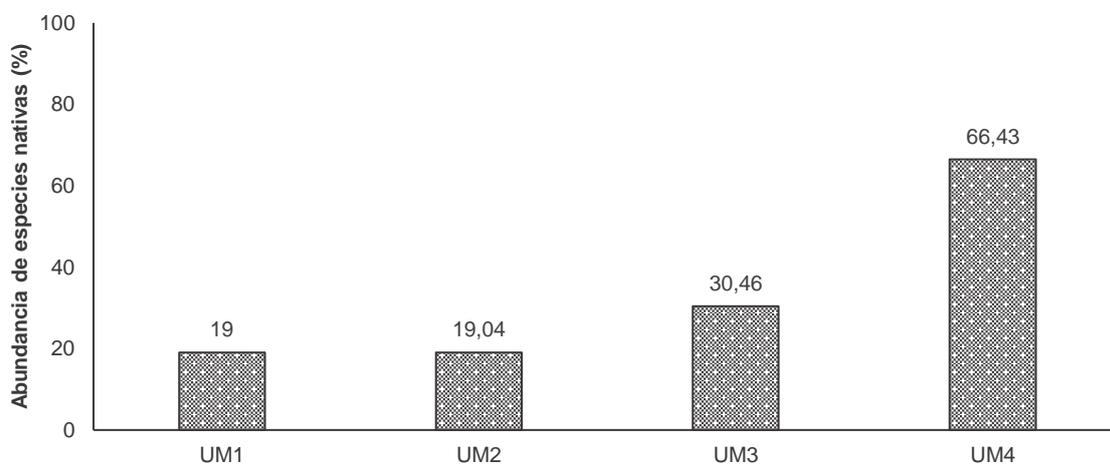


Nota: Elaboración propia.

Cobertura vegetal viva. Los valores de la cobertura vegetal viva en cada una de las unidades muestrales se muestran en la Figura 28. La UM₄ presentó el valor más alto de cobertura vegetal viva con un porcentaje del 66.43 %. Por otro lado, el valor más bajo corresponde a la UM₁ con un porcentaje del 19.00 %.

Figura 28

Cobertura vegetal viva en las unidades muestrales.



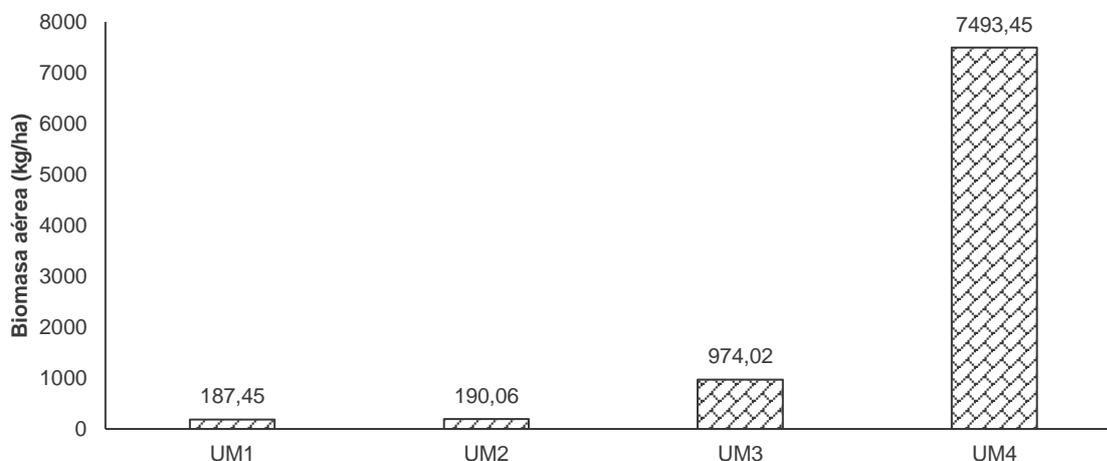
Nota: Elaboración propia.

Biomasa aérea. En cada unidad muestral se recolectaron muestras de 25x25 cm de la cobertura vegetal al ras para posteriormente ser secada al horno y registrar su peso al seco. Este índice es expresado en hectáreas de acuerdo con los pesos obtenidos; en

ese sentido, la muestra UM₁ registró la menor productividad de biomasa aérea, con un valor de 187,45 kg MS/ha. En contraste, la UM₄ mostró la mayor productividad de biomasa aérea, alcanzando 7 493,45 kg MS/ha. Estos datos se presentan en la Figura 29.

Figura 29

Biomasa aérea en las unidades muestrales.



Nota: Elaboración propia.

Alteración del paisaje. Para determinar las alteraciones en el paisaje del bofedal Milloc, se han determinado dos indicadores de carácter cualitativo: conectividad hidrológica del bofedal y factores de degradación.

Tabla 35

Resultado de los indicadores de alteración del paisaje

Unidad muestral	Coordenadas UTM WGS84		Altitud (msnm)	Presencia de factores de degradación	Conectividad hidrológica
	Este (m)	Norte (m)			
UM-01	352 523	8 720 353	4 342	C	B
UM-02	352 475	8 720 241	4 339	C	B
UM-03	351 917	8 719 537	4 337	A	A
UM-04	352 136	8 719 618	4 340	A	A

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 35 se observa la calificación asignada a los indicadores de conectividad hidrológica y factores de degradación. En cuanto a la presencia de factores de degradación, las unidades de manejo UM₁ y UM₂ se clasifican en la categoría C, ya que se identificaron la presencia de cosecha de turba, ganadería y alteraciones hidrológicas dentro del bofedal (factores de degradación), con una abundancia alta y una intensidad baja. Por otro lado, la UM₃ y UM₄ se clasifican en la categoría A, debido a la ausencia de factores de

degradación. En términos de conectividad hidrológica, las unidades muestrales (UM₃ y UM₄) se sitúan en la categoría A, ya que no existen alteraciones hidrológicas; no obstante, la UM₁ y UM₂, presentan una categoría B debido a la presencia de canales de agua y de contaminantes que afectan la calidad del agua, las cuales han modificado la conectividad hídrica del bofedal.

Estado de salud del ecosistema bofedal. El cálculo del estado de bofedal Milloc se realizó a partir de la consolidación de resultados de los indicadores de condición del agua, suelo, biótica y alteración del paisaje en las cuatro unidades muestrales.

Tabla 36

Resultado de la evaluación de estado de bofedal Milloc

Atributos	Indicadores	Unidad muestral 1 (UM ₁)		Unidad muestral 2 (UM ₂)		Unidad muestral 3 (UM ₃)		Unidad muestral 4 (UM ₄)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Condición del agua 39.6%	Napa freática en época seca (cm)	21	10,3	16	20,5	12	20,5	8	20,5
	Conductividad eléctrica (μS/cm)	263	0,0	215	2,9	135,6	2,9	140	2,9
Condición del suelo 24.5%	Profundidad de turba (cm)	100	6,1	106	6,1	30	0,0	58	3,1
	Materia orgánica (%)	59,44	5,9	71,92	5,9	74,1	5,9	61,88	5,9
	Densidad aparente (g/cm ³)	0.09	3,5	0,14	3,5	0,17	3,5	0,12	3,5
	Signos de erosión (cualitativo)	D	0,0	C	1,0	B	1,9	B	1,9
Condición de la biota 19.9%	Especies nativas (%)	60	2,9	64	5,8	71	5,8	50	2,9
	Riqueza de especies (número especies / área)	10	2,1	11	3,1	7	1,0	10	2,1
	Cobertura vegetal viva (%)	19	0,0	19,04	0,0	30,46	0,0	66,43	0,0
	Biomasa aérea (kg MS/ha)	187,45	0,0	190,06	0,0	974,02	3,4	7 493,45	5,1
Alteraciones en el paisaje 16.0%	Presencia de factores de degradación (cualitativo)	C	2,7	C	2,7	A	8,0	A	8,0
	Conectividad hidrológica (cualitativo)	B	5,3	B	5,3	A	8,0	A	8,0
Valor relativo			38,8	56,8	58,0	63,9			
Escala 1-10			3,88	5,68	5,80	6,39			
Estado de Ecosistema			Pobre	Regular	Regular	Bueno			

Nota: Elaboración propia.

Para determinar el estado de salud del bofedal Milloc se realizó la evaluación de los 12 indicadores en cuatro unidades muestrales, dos de ellas ubicadas en un área degradada (UM₁ y UM₂), y dos ubicadas en un área donde superficialmente no se evidenciaba degradación (UM₃ y UM₄). Los resultados mostraron variaciones significativas entre ellas. La UM₁ obtuvo un valor relativo de 38,8%, indicando un estado de ecosistema pobre. Esta área presentó problemas relacionados a la profundidad de la napa freática, además de altas concentraciones de metales pesados, lo cual indica problemas de calidad de agua. Asimismo, presentó signos severos de erosión, factores de degradación, problemas de conectividad hidrológica, y una muy baja carga de biomasa aérea. En contraste, la UM₂, presentó menores alteraciones en el aporte de agua al bofedal, lo cual se evidencia en la profundidad de la napa freática y los niveles de descomposición de la turba. Los demás indicadores presentaron resultados similares a la UM₁.

Por otro lado, la UM₃, con un valor relativo de 58,0%, muestra un bofedal en estado regular, a lo largo del transecto presenta zonas saturadas de agua, las cuales cubren parcialmente la vegetación, presento una disminución considerable de la conductividad eléctrica, lo cual refleja una mejora en la calidad del agua. Presentó un nivel bajo de turba debido a que se encontró limitado por suelo arcilloso de origen fluvioglacial, imposibilitando el desarrollo de raíces de las plantas. Asimismo, se evidenció ligeros signos de erosión y no se registraron presencia de factores de degradación. En cuanto a especies nativas y riqueza de especies, se obtuvieron resultados similares en todas las unidades muestrales; no obstante, la biomasa aérea en esta unidad evaluada fue considerablemente superior a las de la UM₁ y UM₂. Finalmente, la UM₄ obtuvo el valor relativo con un 63,9%, indicando un estado bueno. Esta unidad presentó resultados similares a la UM₃, con diferencias puntuales que influyeron en su mejor calificación como una mayor profundidad de turba, riqueza de especies y biomasa aérea.

En la Tabla 37 se presenta el resultado de la evaluación de estado del bofedal Milloc a través de su valor ecológico, el cual se calculó en base a los promedios de los valores de cada indicador de las cuatro unidades muestrales evaluadas, obteniendo de esta manera un puntaje promedio para cada indicador. La suma de estos puntajes promedios proporcionó el puntaje relativo para la zona de evaluación, este valor permitió identificar un nivel regular en el bofedal Milloc. Esto indica que el bofedal se encuentra en un estado saludable, aunque presenta problemas de manejo que han causado afectaciones considerables, por lo que es necesario recuperar y conservar los indicadores afectados.

Tabla 37

Resumen de la evaluación de estado de bofedal Milloc

Indicadores	UM ₁	UM ₂	UM ₃	UM ₄	Valor promedio	
	Valor					Puntaje
Napa freática en época seca	21	16	12	8	14,25	20,5
Conductividad eléctrica	263	215	135,6	140	188,4	2,9
Profundidad de turba	100	106	30	58	73,5	3,1
Materia orgánica	59,44	71,92	74,1	61,88	66,84	5,9
Densidad aparente	0,09	0,14	0,17	0,12	0,14	3,5
Signos de erosión	D	C	B	B	C	1,0
Especies nativas	60	64	57	50	57,75	2,9
Riqueza de especies	10	11	7	10	9,50	2,1
Cobertura vegetal viva	19	19,04	30,46	66,43	33,73	0,0
Biomasa aérea	187,45	190,06	974,02	7 493,45	2211,25	5,1
Presencia de factores de degradación	C	C	A	A	B	5,3
Conectividad hidrológica	B	B	A	A	B	5,3
Valor relativo						57,6
Escala 1-10						5,76
Estado de Ecosistema						Regular

Nota: Elaboración propia.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Variabilidad estacional

Respecto a la variabilidad estacional en el área de estudio, Flores (2017) realizó un análisis de conglomerados con los resultados de calidad de agua en la cuenca del río Rímac, donde determinó que la época de avenida corresponde a los meses de febrero y abril; la época de estiajes entre mayo y octubre; y una época de transición entre noviembre y enero. Por otro lado, en la presente investigación para la división de las temporadas, se empleó información hidrometeorológica, la cual fue descrita anteriormente, donde se determinó que la temporada húmeda varía entre diciembre a marzo; mientras que la temporada seca, entre abril a noviembre; lo cual es validado en el Informe N°009-2021-SENAMHI/DMA/SPC realizado por el Senamhi en el año 2021. Esto podría deberse a que el análisis estadístico de las variables fisicoquímicas, son muy susceptibles a factores externos como por ejemplo las fuentes contaminantes; por lo que una evaluación a partir de la precipitación y caudales se ajusta mejor a la realidad de la cuenca.

Luego de realizar el agrupamiento de la información en temporada húmeda y seca, mediante la aplicación de la estadística, se determinó que, en ambas temporadas de evaluación, el parámetro arsénico (As) presentó una distribución normal ($p > 0,01$), al igual que el parámetro oxígeno disuelto en la temporada húmeda; en tanto, los demás parámetros empleados en esta investigación mostraron una distribución no normal ($p < 0,01$). Asimismo, se determinó que todas las variables (parámetros) son homocedásticas ($p < 0,01$). Luego de aplicar la prueba correspondiente de acuerdo con la distribución de cada variable (prueba T y prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney. De manera similar, la investigación realizada por López (2023) determinó que no hay diferencia estadística significativa entre los resultados de calidad de agua de las muestras evaluadas durante la temporada húmeda y seca ($p > 0,01$). Por tanto, se demuestra que las variables hidrometeorológicas no tienen un efecto significativo sobre el comportamiento de la calidad del agua en la cuenca del río Santa Eulalia.

4.2 Fuentes de contaminación de metales pesados

El CP1, denominado factor mineral, representa el 41,60% de la varianza total del conjunto de datos de calidad de agua y muestra una fuerte correlación positiva con el manganeso (0,775), cadmio (0,946), plomo (0,905), cobre (0,898) y zinc (0,853); y una fuerte correlación negativa con el pH (-0,844). Según Calla & Cabrera (2010), estos elementos ingresan a los cuerpos de agua a través de fuentes antropogénicas, como el procesamiento de minerales y la minería. Asimismo, Crespo et al. (2023) indicó que los metales pesados como el cadmio, cobre, plomo y zinc representan algunos de los principales contaminantes derivados de la actividad minera. Los PAM han sido identificados como la principal fuente contaminante de metales, cuya liberación al medio ambiente implica un alto riesgo debido a sus propiedades de toxicidad, acumulación, movilidad y biodisponibilidad. Respecto al manganeso, (Nádaská et al., 2012) en su investigación menciona que este metal no se encuentra como un libre en el ambiente, sino que se encuentra como parte de diversos minerales, incluye algunos tipos de óxidos. Por otro lado, el pH presenta una relación fuerte y negativa respecto a los metales pesados, y tiene un efecto inverso sobre la disponibilidad de metales pesados (Abdu & Mohammed, 2016), en condiciones ácidas de pH, los cationes metálicos compiten con los iones de hidrógeno disponibles en el medio; en cambio, en un pH neutro a básico, los metales pesados tienden a ser desplazados y adsorbidos por los coloides, lo que reduce su biodisponibilidad en el agua. Por tanto, la presencia de estos metales en el agua no se debe a la interacción de suelo o rocas que se transportan a los cuerpos de agua, y las fuentes de contaminación estarían relacionados con un origen antropogénico.

El segundo componente (CP2), denominado componente geológico, explica el 22,96% de la varianza total, presentando una fuerte correlación positiva con las variables fósforo (0,949), aluminio (0,938) y hierro (0,897). Estos parámetros corresponderían al grado natural de mineralización del agua y podrían estar relacionados con la geología en el área de estudio, producto de reacciones geogénicas. Según Crespo et al. (2023), la presencia de hierro y aluminio podrían tener un origen natural, debido a la gran cantidad

de minerales ferromagnesianos (afloramientos rocosos de color rojizoviolácea) que componen la litología de la cuenca del río Santa Eulalia, por ello, debido al estado del hierro (iones), estos pueden ser incorporados mediante la escorrentía superficial a los cuerpos de agua. Asimismo, las altas concentraciones de aluminio se deberían en parte a la abundancia de este metal en la litósfera. Por otro lado, las concentraciones de fósforo se encontraron muy por debajo del ECA; estas pequeñas trazas estarían relacionadas al escurrimiento del drenaje fluvial en zonas de cultivo.

Este componente principal (CP3) representa un factor microbiológico de la calidad del agua, explica el 12,88% de la varianza total, y muestra una correlación fuerte y positiva con las variables oxígeno disuelto (0,824) y coliformes termotolerantes (0,921); y moderadamente positiva con la variable arsénico (0,692), lo cual estaría relacionado en mayor parte a las 14 descargas de efluentes domésticos identificadas por la ANA y residuos sólidos municipales arrojados en la ribera de los cuerpos de agua, y en menor parte a la presencia de arsénico por efluentes minero-metalúrgicos. (Fuentes et al., 2009), determinó que existe una correlación fuerte entre el oxígeno disuelto y los coliformes termotolerantes lo cual estaría relacionado al suministro de nutrientes a través de la escorrentía superficial, así como a la recepción de aguas residuales domésticos e industriales con altas cargas de materia orgánica. En el área de estudio, los coliformes termotolerantes o coliformes fecales variaron entre 1 NMP/100 ml a 49 000 NMP/100ml, sobrepasando ampliamente el ECA-agua Cat.1-2A (2 000 NMP/100 ml). Estos elevados niveles de coliformes termotolerantes son causados por el vertimiento de aguas residuales de origen doméstico sin tratamiento; asimismo, si bien en las partes altas se desarrollan actividades pecuarias se registraron niveles bajos o nulos de coliformes en las estaciones de monitoreo ubicadas en la cuenca alta. Estas fuentes de contaminación son consideradas potencialmente peligrosas por la presencia de agentes infecciosos en la materia fecal; los cuales son causantes de enfermedades de origen bacteriano diarreicas agudas como el cólera, otras enfermedades causadas por enteropatógenos e infecciones virales como la hepatitis A y E, entre otras enfermedades (Cabezas, 2018).

El CP4 representa el 10,21% de la varianza total y muestra una fuerte correlación positiva con la demanda bioquímica de oxígeno (0,671) y demanda química de oxígeno (0,814). Este componente principal representa un factor de contaminación orgánica de la calidad del agua, que se produce por residuos domésticos. De acuerdo con Menéndez & Dueñas (2018), la DBO es un indicador de la cantidad de material orgánico que los microorganismos podrían descomponer mediante un tratamiento biológico; en tanto, la DQO a diferencia de la DBO, permite determinar tanto la concentración de las fracciones biodegradables como no biodegradables del material orgánico, incluyendo aquellos compuestos inorgánicos susceptibles de oxidación química. Las concentraciones de DQO se encontraron entre el L.D. y 38 mg/l, registrándose los valores por encima del ECA-suelo Cat. 1 A-2 (20 mg/l) en las estaciones QColl1 y RSeul1; por otro lado, las concentraciones de DBO variaron entre el L.D. y 3 mg/l. De acuerdo a la ubicación de las estaciones de monitoreo y el informe de identificación de fuentes contaminantes, este CP tendría relación directa con la presencia de residuos sólidos en los cauces de los cuerpos de agua.

Adicionalmente, se empleó el CA para ordenar las 10 estaciones de monitoreo analizadas en un dendograma de acuerdo con la influencia de las fuentes contaminantes en la calidad del agua (Figura 23) encontrando cuatro grupos, también denominados *clúster*. Cada grupo presentan ciertos patrones que son explicados por un grupo de parámetros que fueron agrupados mediante el análisis de componentes principales. Estos parámetros más representativos se compararon con los componentes principales (CP1, CP2, CP3 y CP4) con la finalidad de confirmar las fuentes contaminantes identificadas previamente. El grupo 1 (C1) fue el grupo más grande de estaciones de monitoreo con los niveles más altos de metales pesados y formas mineralizadas que corresponden a PC1 y PC2. Este clúster contiene las estaciones ubicadas a lo largo del río Santa Eulalia y tributarios con presencia de contaminación por actividades antropogénicas y de origen geogénico, debido a las formaciones geológicas presentes en la cuenca alta. El C2 presentó un patrón característico donde los metales pesados superaron los ECA-agua, demostrando una incidencia clara de fuentes contaminantes de origen antropogénico

(minería). La estación que se encuentra en este clúster (LCan1), se encuentra afectada directamente por PAM. Por otro lado, el C3 (QLeo1) no presentó ninguna característica particular, ya que todos los parámetros se encontraron por debajo del ECA-agua, representando el nivel de fondo, por lo que esta estación no presentó fuentes contaminantes. Por último, el cuarto grupo (C4) se caracterizó por presentar los niveles más altos de coliformes termotolerantes, DQO y DBO correspondientes a las estaciones QColl1 y RSeul1. Estas ubicaciones de monitoreo fueron afectadas significativamente por los efluentes y residuos sólidos domésticos depositados en los cuerpos de agua, principalmente en la cuenca baja; y guardan correlación con los CP3 y CP4.

4.3 Influencia de los niveles de metales pesados en la calidad del agua

Para determinar el grado de contaminación por metales pesados se determinaron los ICARHS; así como los índices de contaminación (HPI, HEI y Cd) empleando metodologías aplicadas en diversos países (Edet & Offiong, 2002). El HPI varió de 9,92 a 119,21 con una media de 54,66, lo que indica que la estación LCanc1 está contaminada críticamente con respecto a metales pesados (Prasad & Bose, 2001). Los valores de Cd en el área de estudio variaron de 0,00 a 10,65 con un valor medio de 2,24. El HEI se utilizó para una fácil interpretación del índice de contaminación (Edet & Offiong, 2002). El HEI varió de 0,37 a 6,97 con un valor medio de 3,26.

Para identificar los principales parámetros que contribuyen a los índices de contaminación, se realizó una correlación entre los índices de contaminación y los parámetros de metales pesados como se muestra en la Tabla 31. Esto sugiere que Fe, Mn, Pb, Cu, Cd y Zn fueron los parámetros contribuyentes clave. Cabe indicar que el Cd y HEI muestran altas correlaciones positivas con Cu, Fe y Pb, y muestra una correlación negativa con As (-0,11, -0,29). De manera similar, los ICARHS mostraron una correlación negativa fuerte con respecto a todos los metales con excepción del As.

La correlación entre Cd y HEI es significativa ($r = 0,93$) y sus resultados muestran tendencias similares en varias ubicaciones de muestreo (Figura 20 y Figura 21). De manera

similar, el HPI está fuertemente correlacionado con ICARSH, Cd y HEI debido a que el aporte de metales pesados en las estaciones analizadas ha sido predominante, respecto a otros factores de contaminación.

Debido a que los resultados de los índices HEI y Cd fueron demasiado altos, y empleando el índice HPI solo la estación LCanc1 sobrepasó el límite crítico, no es concluyente indicar que no existe contaminación por metales pesados a pesar del hecho de que todas las otras estaciones de monitoreo están por debajo del límite crítico; por ello, según el resultado de diversos estudios, se empleó el índice HEI para integrar los resultados de los índices de contaminación aplicados en la presente investigación. En la Tabla 32 se detalla la desviación media y la desviación porcentual para todos los índices (HPI, HEI, Cd) en cada estación de monitoreo. La 60% de los valores HEI, 70% Cd y el 80% de los valores HPI estaban por debajo de sus respectivos valores medios y su desviación media porcentual, lo cual significa una mejor calidad relativa, tal como fue indicado por Prasad y Bose (2001).

Edet y Offiong (2002) y Prasanna et al. (2012) clasificaron los índices (HPI, HEI, Cd) en términos de niveles de contaminación como bajo, medio y alto empleando sus valores medios calculados. Los diferentes niveles de contaminación están demarcados por un múltiplo de los valores medios.

Los valores HEI propuestos se reclasifican para las muestras de la siguiente manera: bajo ($HEI < 27$), medio ($27 < HEI < 54$) y alto ($HEI > 54$). Por estos valores, el 70 % de las muestras se clasificaron como de bajo nivel de contaminación, con el 20 % y el 10 % clasificados como medio y alto. En tanto, con la escala modificada de HPI y Cd obtuvo como resultado que el 70 % fueron categorizados como bajo, y el 30 % restante, entre media y alta (QColl1, RSant1 y LCanc1).

4.4 Influencia de los niveles de metales pesados en el bofedal Milloc

En la presente investigación, la evaluación de estado del bofedal Milloc se realizó únicamente al comienzo de la temporada húmeda, debido a que en la investigación realizada por Valencia (2019), determinó que no existen diferencias significativas respecto a los resultados de cobertura vegetal y riqueza de especies entre la temporada húmeda y seca. Asimismo, (Oropeza, 2019), aplicó un análisis denominado *forward analysis*, para las dos temporadas, determinando que la profundidad de la napa freática fue la variable más representativa entre la temporada húmeda y seca; sin embargo, la correlación entre esta variable y la riqueza de especies era muy baja, por lo que al incluir más variables ambientales como la conductividad eléctrica, y observando que la fuerza de relación continuó siendo baja, concluyó que dichas variables no fueron representativas.

Los resultados de los indicadores de condición del agua presentaron una gran similitud a la investigación realizada por (Oropeza, 2019), en el caso del pH fue de 4,09 y 6,75, con una tendencia ácida en la zona impactada como en la presente investigación. El nivel freático varió entre 6 cm y 21 cm; la temperatura del agua estuvo alrededor de 12°C; y la conductividad eléctrica varió entre 135,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 263 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Todos los parámetros se encontraron dentro de los rangos identificados por Oropeza. Cabe señalar que el pH estuvo relacionado de manera inversa con la conductividad, lo cual indica la presencia de metales pesados en la zona impactada.

Los resultados obtenidos sobre la condición del suelo, se encontraron niveles moderados de materia orgánica (59,44% a 74,1%), lo que mejora la capacidad de retención de carbono en la turba, y una densidad aparente baja ($<0,2 \text{ g}/\text{cm}^3$), lo cual refleja que en los puntos muestreados no hay factores antrópicos que generen la compactación de la turba; esto es un indicador de buena retención de agua en la turba (Paucar & Soto, 2022). La profundidad de turba varió entre 30 cm y 106 cm; no obstante, el menor valor encontrado se debería a que la muestra fue recolectada al pie de una ladera de montaña, donde la turba se encontró limitada por una capa masiva de suelo muy firme. Asimismo, se evidenció el fraccionamiento del ecosistema, así como la presencia de grandes áreas erosionadas,

segmentando el bofedal en parches que son invadidos por otros tipos de vegetación como el pajonal andino.

Respecto a la condición de la biota, el porcentaje de especies nativas, indicador importante de la salud del bofedal, muestran una riqueza baja a moderada, debido principalmente a factores antrópicos como la presencia de metales pesados y a las transformaciones que ha experimentado el bofedal a lo largo de los años (Valencia, 2019). En los últimos años el área del bofedal se ha reducido y esto ha permitido la invasión de especies exóticas o invasoras; lo cual se contrasta con la investigación de Machuca (2017), la cual indica que del año 2005 al 2016 la cobertura vegetal del bofedal Milloc pasó de 92,28 ha a 52,19 ha, y de acuerdo con lo verificado en la visita de campo esta área continúa reduciéndose. La riqueza de especies, según los resultados obtenidos, es baja, lo que indica una pérdida de biodiversidad debido a amenazas antrópicas. En la presente investigación se identificaron 31 especies a diferencia de las 26 especies identificadas por Oropeza (2019), siendo la especie con mayor abundancia la *Distichia muscoides*, en ambas investigaciones. El porcentaje de cobertura vegetal viva es bajo debido a la pérdida de áreas de cobertura, exponiendo la turba y acelerando los procesos de erosión. Adicionalmente, en la zona no impactada se registraron producciones altas de biomasa aérea, lo que evidencia la capacidad productiva del bofedal y su potencial para capturar carbono.

En cuanto al indicador de alteración del paisaje, se identificaron tres factores de degradación (extracción de turba, ganadería y alteraciones hidrológicas dentro del bofedal) con alta abundancia y baja intensidad. De manera similar a los resultados obtenidos por Maldonado (2010), en esta investigación se encontró en tres de los cuatro transectos propuestos, a la especie *Achiachne pulvinata*, especie invasora que no se reporta usualmente en bofedales y que es un indicador de sobrepastoreo, lo cual estaría contribuyendo a la degradación de este ecosistema. Con respecto a las zonas impactadas por extracción de turba Valencia (2019) indicó que estas actividades afectan a la estructura y composición florística del bofedal Milloc; no obstante, el ecosistema puede regenerarse

dependiendo de las condiciones hidrológica y del suelo. Respecto a la conectividad hidrológica, se identificó la presencia de carreteras e infraestructuras que afectan la permeabilidad del suelo; así como alteraciones en la calidad del agua (metales pesados) en la quebrada que alimenta de agua al bofedal.

Conclusiones

1. En el presente estudio, se determinó la influencia de los niveles de metales pesados en la calidad de los recursos hídricos de la cuenca del río Santa Eulalia empleando los ICARHS e índices de evaluación de contaminación por metales pesados. La estadística descriptiva reveló que el As, Fe, Cd y Mn resultaron por encima de los estándares de comparación y el 52 % de las muestras presentaron excedencias en metales pesados. De acuerdo con los resultados del ICARSH y los criterios establecidos por la OMS respecto a la calidad del agua para consumo humano, las estaciones LCanc1, QColl1, RSant1, AS4 y AS5, se ubican en la categoría inviable para consumo humano y requieren obligatoriamente de tratamiento previo a su uso. Los resultados de HPI y Cd proporcionaron resultados extremos y estaban muy poco correlacionados, esta variación podría atribuirse a los diferentes métodos de proceso de evaluación y la concentración de metales pesados. Asimismo, el HEI fue empleado para reclasificar las escalas y unir los resultados de HPI y Cd (baja, media y alta). Adicionalmente, se constató que los metales pesados en la parte alta de la cuenca influenciaron directamente en la evaluación de estado del bofedal Milloc.

2. Se determinó que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones de los parámetros de calidad de agua, evaluados entre el 2012 al 2021, agrupados de acuerdo con la caracterización física del área de estudio en temporada húmeda y seca ($p > 0,01$); por tanto, no existe influencia de las condiciones meteorológicas e hidrológicas en el comportamiento temporal de la calidad del agua en la cuenca del río Santa Eulalia.

3. Se identificaron los principales factores de contaminación natural y antrópica de la calidad del agua en la cuenca del río Santa Eulalia. El primer factor está compuesto por efluentes y residuos mineros (pasivos ambientales mineros) que entran en contacto con cuerpos de agua o los transportados por la escorrentía superficial; seguido de un factor natural como la meteorización y transporte de las rocas con presencia de metales pesados y otros elementos propios de la geología local. Por último, se encuentran factores

antrópicos, como vertimientos de origen doméstico sin tratamiento y actividades agropecuarias (efluente de piscigranja); la contrastación de estos factores se conforma en las elevadas concentraciones de parámetros físicos y microbiológicos del agua, como la DBO, DQO y coliformes termotolerantes.

4. Se determinó que las estaciones ubicadas en la parte alta del río Santa Eulalia (AS1, AS2, AS4, AS5, AS6, AS8 y LCanc1) presentaron altos niveles de metales pesados (pH, arsénico, hierro, cadmio y manganeso), excediendo los ECA-agua, mientras que otras estaciones como QLeon1, QColl1 y RSant1 mostraron una mayor influencia de materia orgánica, con niveles elevados de DQO y coliformes termotolerantes. El índice ICARHS reflejó estas diferencias, clasificando la estación LCanc1 con calidad pésima y QColl1 con mala calidad; en tanto, las estaciones AS4, AS5 y RSeul1 presentaron una calidad regular, y las restantes presentaron una buena calidad de agua. Por otro lado, la evaluación de la contaminación por metales pesados en el área de estudio, utilizando los índices HPI, Cd y HEI, mostró variaciones significativas en los niveles de riesgo entre bajos y altos en las estaciones de monitoreo evaluadas, siendo las de mayor riesgo las estaciones LCanc1, QColl1 y RSeul1. No obstante, el HPI medio se mantuvo por debajo del valor crítico, donde solo la estación LCanc1 superó este umbral, indicando un alto riesgo para la salud pública.

5. Se determinó que el bofedal se encuentra en un estado regular, reflejando que, aunque el ecosistema está relativamente saludable, existen problemas de manejo que han sido provocados por los factores de degradación presentes en el bofedal, los cuales requieren de atención para su recuperación y conservación. La evaluación del estado de salud del bofedal Milloc reveló diferencias significativas entre las unidades muestrales ubicadas en el sector impactado, con un estado pobre debido a problemas graves como baja profundidad de la napa freática y alta concentración de metales pesados, mientras que el sector no impactado mostró un estado bueno con mejores indicadores como mayor biomasa aérea y profundidad de turba. La diferencia significativa en el porcentaje de cobertura vegetal podría deberse a la baja adaptación de las especies a un pH muy ácido, producto de las aguas ácidas provenientes de la laguna Milloc.

Recomendaciones

1. Se recomienda realizar el análisis de la influencia de los niveles de metales pesados en la calidad de los recursos hídricos, desde el enfoque en la calidad de agua (consumo humano) y sus bienes asociados (ecosistemas) en todos los cuerpos de agua donde se hayan identificado fuentes contaminantes de origen antropogénico que posiblemente sean una fuente de generación y/o transporte de metales pesados, como por ejemplo los pasivos ambientales mineros, efluentes mineros sin autorización o aguas de contacto de operaciones mineras.

2. Se recomienda verificar la influencia de la variabilidad estacional (temporada húmeda y seca) en la calidad del agua, en toda investigación relacionada a la evaluación espacial y temporal de la calidad del agua. Esta información debe ser evaluada con información hidrometeorológica de fuentes oficiales como el SENAMHI, correspondiente a una cantidad de años representativa, y técnicas estadísticas que permitan contrastar el comportamiento de los parámetros evaluados en ambas temporadas.

3. Realizar en forma periódica la actualización de las fuentes contaminantes, mediante el reconocimiento de campo, siguiendo los lineamientos establecidos por la ANA (R.J. N°136-2018-ANA) “Lineamientos para la Identificación y Seguimiento de Fuentes Contaminantes Relacionadas con los recursos hídricos”.

4. Evaluar el incremento del número de estaciones de monitoreo en la cuenca del río Santa Eulalia, principalmente en las microcuencas donde se han identificado fuentes contaminantes, asimismo, establecer una frecuencia de monitoreo trimestral, analizando todos los parámetros establecidos en el ECA agua de acuerdo con la clasificación asignada a los cuerpos de agua, y aplicar un análisis de aseguramiento de la calidad de la información antes de su publicación, con la finalidad de generar información consistente y cuyos datos faltantes se reduzcan a la mínima cantidad, y permita realizar un cálculo exacto del ICARHS y los índices de contaminación, y de esta manera reducir el error durante la aplicación de técnicas estadísticas descriptivas y multivariadas.

5. Implementar medidas de mitigación de los factores de degradación (extracción de turba y alteraciones hidrológicas) presentes en el bofedal Milloc; asimismo, evitar la alimentación de agua de la laguna Milloc hacia el bofedal Milloc, debido a que presenta concentraciones muy elevadas de metales pesados. No obstante, se deben implementar mecanismos que permitan la recarga hídrica del bofedal, mediante otras quebradas que provienen aguas arriba del bofedal, como la quebrada Leoncocha, la cual no presenta afectación por metales pesados, todo esto con la finalidad de mantener saturado el bofedal en todo momento, y de esta manera mejorar el estado del bofedal.

Referencias bibliográficas

- Abdu, N., & Mohammed, I. (2016). Equilíbrio de adsorção-solubilidade e especiação de Pb, Cd e Zn num solo de savana. *Spanish Journal of Soil Science*, 6(3), 244-260. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2016.V6.N3.06>
- Abdullah, E. J. (2013). Evaluation of Surface Water Quality Indices for Heavy Metals of Diyala River-Iraq. *Journal of Natural Sciences Research*, 3(8), 63-70. www.iiste.org
- Agence France-Presse. (2021). *En las altas montañas de Lima se «siembra el agua» con ingeniería prehispánica.*
- Aldas Manzano, J., & Uriel Jimenez, E. (2017). *Análisis multivariante aplicado con R* (Segunda Edición). Paraninfo. www.paraninfo.es
- Alderete Malpartida, M. B. (2022). *Evaluación de la calidad de aguas superficiales en la cuenca del río Rímac mediante análisis multivariado para el período 2011-2018* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5360>
- Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua. (2021). *Contribuyendo a la Seguridad Hídrica desde la Sierra de Lima: Acciones, actores y retornos proyectados.*
- Andaluz Westreicher, C. (2016). *Manual de Derecho Ambiental* (Quinta edición). Ed. Iustitia.
- Arboleda González, J. A. (2008). *Manual para la Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos, Obras o Actividades.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Resolución Jefatural N°042-2016-ANA. Por lo cual se aprueba la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos. En 2016.
- Banco Mundial. (2005). *Riqueza y Sostenibilidad: Dimensiones Sociales y Ambientales de la Minería en el Perú.*
- Bautista Zúñiga, F. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados.* <https://www.researchgate.net/publication/236954595>

- Belkhiri, L., Boudoukha, A., Mouni, L., & Baouz, T. (2010). Multivariate statistical characterization of groundwater quality in Ain Azel plain, Algeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(8), 256-534.
- Bernex, N., & Matteo, L. (2016). Mejora de la interacción transectorial para la generación de resiliencia al cambio climático y seguridad hídrica en la subcuenca del río Santa Eulalia. *Agua y más - Revista de la Autoridad Nacional del Agua*, 28-31.
- Boelens, R., Getches, D., & Guevara Gil, A. (2006). *Agua y derecho. Políticas hídricas, derechos consuetudinarios e identidades locales* (Primera edición). Instituto de Estudios Peruanos.
- Burt, T. P., Howden, N. J. K., & Worrall, F. (2014). On the importance of very long-term water quality records. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 1(1), 41-48.
- Cabezas Sánchez, C. (2018). Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 309-316.
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3761>
- Caho Rodríguez, C. A., & López Barrera, E. A. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Producción + Limpia*, 12(2), 35-49.
<https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a3>
- Calla LLontop, H., & Cabrera Carranza, C. (2010). Calidad del agua en la cuenca del río Rímac, sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 13(25), 87-94.
- Carolin, C. F., Kumar, P. S., Saravanan, A., Joshiba, G. J., & Naushad, M. (2017). Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(3), 2782-2799.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.05.029>
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111-124.
<https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>

- Cervantes Neira, J. J., & Quito Quilla, S. J. (2020). Evaluación de riesgo ambiental generado por pasivo ambiental minero en la calidad de agua superficial. *Natura @economía*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.21704/ne.v5i1.1511>
- Charca Huaricallo, M. A. (2016). *Estudio de vulnerabilidad climática de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Chillón, Rímac, Lurín y parte alta del Mantaro*.
- Chiroque, C., & Lavado, H. (2016). Aspectos geológicos y geodinámicos de flujos aluvionales en la quebrada Jicamarca y análisis de la vulnerabilidad para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en el centro poblado Cajamarquilla. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 19(38), 47-55.
- Conesa Fernández-Vítora, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (4ta Edición). Ediciones Mundi-Prensa.
- Congreso de la República. (2009). *Ley 29338 de 2009. Por lo cual se expide Ley de Recursos Hídricos*.
- Copaja, S. V., Nuñez, V. R., Muñoz, G. S., González, G. L., Vila, I., & Véliz, D. (2016). Heavy metal concentrations in water and sediments from affluents and effluents of Mediterranean Chilean reservoirs. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 61(1), 2797-2804.
- Corzo Remigio, A. (2015). *Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Párac, distrito de San Mateo de Huanchor, Lima* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6160>
- Crespo, M. A. D., Cadillo, S. R. B., Baldeon, S. A. G., Esperilla, N. S. D., & Malca, U. F. G. (2023). Variation in the concentration of heavy metals due to rains and floods in the Rimac river basin, Lima-Peru. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology, 2023-July*. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.1061>

- Crombet Grillet, S., Abalos Rodríguez, A., & Zamora Matamoros, L. (2019). Determinación de los parámetros ambientales de mayor incidencia en las aguas residuales de la comunidad universitaria Antonio Maceo. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 137-154. <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq>
- Davis, B. E. (1980). Applied Soil Trace Elements. *John Wiley and Sons*, 287-351.
- De La Puente Brunke, L. (2008). La industria y la rigidez actual en la aplicación de los límites máximos permisibles: caben excepciones. *THĒMIS-Revista de Derecho*, 56, 219-229.
- Dinius, S. H. (1972). Social accounting system for evaluating water resources. *Water Resources Research*, 8(5), 1159-1177. <https://doi.org/10.1029/WR008i005p01159>
- Dorji, C., & Chopel, P. (2023). Determination of Water Quality Indices and Assessment of Heavy Metal Pollution of Drinking Water Sources in Thimphu. *Bhutan Health Journal*, 9(2), 16. <https://doi.org/10.47811/bhj.158>
- Edet, A. E., & Offiong, O. E. (2002). Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria). En *GeoJournal* (Vol. 57).
- El-Hamid, H. T. A., & Hegazy, T. A. (2017). Evaluation of Water Quality Pollution Indices for Groundwater Resources of New Damietta, Egypt. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 2(6). <https://doi.org/10.15406/mojes.2017.02.00045>
- Fernández Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170.
- Flores Cruz, R. V. (2017). *Variación temporal de la calidad de agua en la bocatoma "La Atarjea", río Rímac (2009-2015)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2892>
- Folch, R. (1999). *La sostenibilitat és l'element vertebrador del pensament postindustrial*.
- French, A. (2016). ¿Una nueva cultura de agua?: inercia institucional y la gestión tecnocrática de los recursos hídricos en el Perú. *Anthropologica*, 34(37), 61-86. <https://doi.org/10.18800/anthropologica.201602.003>

- Fundación Canal. (2006). Primer Foro Agua para el Desarrollo. *Conclusiones*.
www.fundacioncanal.com
- García Bickford, C. (2004). *Desarrollo del sector agua potable y aguas residuales* (2da. Edición). Editorial Ideads.
- García, C., Moreno, J. L., Hernández, T., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicancias en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente - CCMA - CSIC*, 125-138.
- Gil Marin, J. A. (2020). Modelo de calidad del agua subterránea mediante el uso combinado del análisis de componentes principales (ACP) y regresiones lineales múltiples (RLM) Caso de estudio: acuíferos de Maturín, Monagas, Venezuela. *INNOTECH*, 20, 67-88.
<https://doi.org/10.12461/20.02>
- Gil, V. R. (2009). *Aterrizaje minero. Cultura, conflicto, negociaciones y lecciones para el desarrollo desde la minería en Áncash, Perú*. Instituto de Estudios Peruanos.
- Global Water Partnership. (2013). *Improved Cross-sectoral Interaction to Generate Resilience to Climate Change and Water Security in the Santa Eulalia Sub-Basin*.
www.gwpsudamerica.orgwww.facebook.com/GWP.SAm
- Gómez Miranda, I. N., & Peñuela Mesa, G. A. (2016). Revisión de los métodos estadísticos multivariados usados en el análisis de calidad de aguas. *Revista Mutis*, 6(1), 54.
<https://doi.org/10.21789/22561498.1112>
- Guevara Floríndez, V. (2019). Revisión crítica de los alcances y límites de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH): el caso de la subcuenca Santa Eulalia. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 2019(4), 25-45.
<https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201902.002>
- Guillet, D., & Mitchell, W. P. (1994). *Irrigation at High Altitudes: The Social Organization of Water Control Systems in the Andes*. American Anthropological Association.
- Hair Jr., J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2009). *Multivariate Data Analysis* (7th Ed.). Pearson.

- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied multivariate statistical analysis* (6th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Kaiser, H. F. (1960). The Application of Electronic Computers to Factor Analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 141-151.
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión* (Vol. 1). McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.
- Kumar, V., Sharma, A., Kumar, R., Bhardwaj, R., Kumar Thukral, A., & Rodrigo-Comino, J. (2020). Assessment of heavy-metal pollution in three different Indian water bodies by combination of multivariate analysis and water pollution indices. En *Human and Ecological Risk Assessment* (Vol. 26, Número 1, pp. 1-16). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1497946>
- Ladrón de Guevara, J., & Moya Pueyo, V. (1995). *Toxicología Médica. Clínica y Laboral*. McGraw-Hill Interamericana de España.
- Li Lin, S. (2013). *Medición del potencial de generación de agua ácida para un relave en la zona central del Perú y sus necesidades de neutralización* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4923>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- López Velandia, C. C. (2023). Evaluación de la calidad del agua subterránea utilizando métodos de índice y análisis estadístico multivariado: cuenca del río Pavas (Colombia). *South Sustainability*, 4(1), e072. <https://doi.org/10.21142/ss-0401-2023-e072>
- Lucho Constantino, C. A., Álvarez Suárez, M., Beltrán Hernández, R. I., Prieto García, F., & Poggi Varaldo, H. M. (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico

- irrigated with raw wastewater. *Environment International*, 31(3), 313-323.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.08.002>
- Luís Fuentes, J. Z., Patiño, R., López, P. G., & López, J. C. (2009). Densidad de bacterias coliformes y su relación con algunas variables físico-químicas en aguas de la laguna los Mártires, isla de Margarita, Venezuela. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 21(2), 126-132.
- Lumb, A., Sharma, T. C., & Bibeault, J.-F. (2011). A Review of Genesis and Evolution of Water Quality Index (WQI) and Some Future Directions. *Water Quality, Exposure and Health*, 3(1), 11-24. <https://doi.org/10.1007/s12403-011-0040-0>
- Machuca Crespo, D. V. (2017). *Efectos de la extracción de turba en un sistema socioecológico altoandino: bofedales de Carampoma – Lima* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9948>
- Maillo Hidalgo, J. (2020). *Fast k-nearest neighbors for Big Data and Smart Data* [Tesis de doctorado, Universidad de Granada]. <http://hdl.handle.net/10481/62892>
- Maldonado Fonkén, M. S. (2010). *Comportamiento de la vegetación de bofedales influenciados por actividades antrópicas* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7400>
- Manrique, H., & Sanborn, C. A. (2021). *La minería en el Perú: balance y perspectivas de cinco décadas de investigación*.
- Martínez de Bascarán, G. (1976). El índice de calidad del agua. *Ing. Quím.*, 45-49.
- Masters, G. M., & Ela, W. P. (2008). *Introducción a la ingeniería medioambiental* (3ra Edición). Pearson Educación S.A. www.pearsoneducacion.com
- Menéndez Gutiérrez, C., & Dueñas Moreno, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIX(3), 97-107.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). *Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión pública en diversidad biológica y servicios ecosistémicos*.

- Ministerio de Energía y Minas. (2023). *Anuario Minero 2022*. www.gob.pe/minem
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Glosario de términos para la Gestión Ambiental Peruana*.
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal*.
- Mora Paniagua, C. (2018). *Asegurando una efectiva inclusión y participación del usuario poblacional en los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca*. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. www.actualidadambiental.pe
- Morán Chorro, I., Martínez de Irujo, J. B., Marruecos Sant Luís, & Nogué Xarau, S. (2011). *Toxicología Clínica*. Grupo difusión.
- Morán Medina, K. L. (2021). *Comportamiento de la concentración de metales pesados y su influencia en la calidad del agua, parte baja del río Chili Arequipa, 2017- 2019* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12540>
- Moura Calazans, G. (2015). *Avaliação e proposta de adequação da rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais das sub-bacias do Rio das Velhas e do Rio Paraopeba, utilizando técnicas estatísticas multivariadas* [Tesis de maestría, Universidade Federal de Minas Gerais]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/1843/BUBD-9WEKNW>
- Mustapha, A., Aris, A. Z., Yusoff, F. Md., Zakaria, M. P., Ramli, M. F., Abdullah, A. M., Kura, N. U., & Narany, T. S. (2014). Statistical Approach in Determining the Spatial Changes of Surface Water Quality at the Upper Course of Kano River, Nigeria. *Water Quality, Exposure and Health*, 6(3), 127-142. <https://doi.org/10.1007/s12403-014-0117-7>
- Nádaská, G., Lesný, J., & Michalík, I. (2012). Environmental aspect of manganese chemistry. *Hungarian Journal of Sciences*, 1-16.
- OECD. (2003). *OECD Environmental Indicators. Development, measurement and use*.
- Oré, M. T., & Rap, E. (2009). Políticas neoliberales de agua en el Perú. Antecedentes y entretelones de la Ley de Recursos Hídricos. *Debates en Sociología*, 34, 32-66.
- Oropeza Abregú, Y. E. (2019). *Flora de los bofedales aledaños a la laguna Milloc y su relación con el agua subterránea. Distrito de Carampoma, Huarochirí* [Tesis de grado,

Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional.
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/4235>

Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, N., Rodríguez Vidal, F. J., & Alfayate Blanco, J. M. (2011). *Contaminación Ambiental. Una visión desde la química*. Ediciones Paraninfo, SA.

Ortiz Moreno, E. J. (2005). La experiencia de Holanda y Alemania en el uso de cargos por vertimientos de aguas residuales como instrumento para el control de la contaminación hídrica - Elementos para decidir los parámetros a ser tenidos en consideración. *Economía y Desarrollo*, 4(1), 55-87.

Ortiz Romero, L. T., Delgado Tascón, J. G., Pardo Rodríguez, D. Á., Murillo Perea, E., & Guio Duque, A. J. (2015). Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena – tramo Tolima, Colombia. *Revista Tumbaga*, 2(10), 43-60.

Pabón Guerrero, S. E., Benítez Benítez, R., Sarria Villa, R. A., & Gallo Corredor, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre ciencia e ingeniería*, 14(27), 9-18.
<https://doi.org/10.31908/19098367.1734>

Paucar Rojas, J. A., & Soto Ccora, P. J. (2022). *Estado del ecosistema bofedal y determinantes del clima que influyen en su distribución de los bofedales, en la microcuenca Astobamba y Cachimayo, Huancavelica 2022-2030*.

Peña, D. (2002). *Análisis de Datos Multivariantes*. McGraw-Hill Interamericana de España S.L. <https://www.researchgate.net/publication/40944325>

Pino Neculqueo, M. E. (2001). *Análisis de indicadores de sostenibilidad ambiental y urbana en las agendas 21 local y ecoauditorias municipales. El caso de las regiones urbanas europeas* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/10803/6110>

Pinto Ortiz, Y. (2018). *La Naturaleza Jurídica del Agua en el Perú*. Prometheo.

- Polanco, C. (2006). Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gestión y Ambiente*, 9(2), 27-41.
- Prasad, B., & Bose, J. M. (2001). Evaluation of the heavy metal pollution index for surface and spring water near a limestone mining area of the lower himalayas. *Environmental Geology*, 41(1-2), 183-188. <https://doi.org/10.1007/s002540100380>
- Prasanna, M. V., Praveena, S. M., Chidambaram, S., Nagarajan, R., & Elayaraja, A. (2012). Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: A case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, 67(7), 1987-2001. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1639-6>
- Pyke, D. A., Herrick, J. E., Shaver, P., & Pellant, M. (2002). Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal of Range Management*, 55(6), 584-597. <https://doi.org/10.2307/4004002>
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Cardeñosa, M. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 89-99.
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 136-153.
- Ramírez, T., & Valle Riestra, E. (2022). *Capacidad estatal en la gestión de los Cierres de minas y Pasivos ambientales Mineros en el Perú*.
- Red Muqui. (2015). *Los pasivos ambientales mineros: Diagnóstico y propuestas*.
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
- Rivera Porras, M., Mariño Salazar, J., Thouret, J.-C., & Cacya Dueñas, L. (2008). *Geología y evaluación de peligros del volcán Ubinas*.
- Salazar Diaz, H. (1983). *Geología de los cuadrángulos de: Matucana y Huarochiri*.

- Saleem, M., Iqbal, J., & Shah, M. H. (2019). Seasonal variations, risk assessment and multivariate analysis of trace metals in the freshwater reservoirs of Pakistan. *Chemosphere*, 216, 715-724. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.173>
- Sanín, L. H., González Cossío, T., Romieu, I., & Hernández Avila, M. (1998). Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *Salud Pública de México*, 40(4), 359-368.
- Serrato Álvarez, P. K. (2009). Clasificación fisiográfica del terreno a partir de la inclusión de nuevos elementos conceptuales. *Perspectiva Geográfica*, 14(1), 181-218.
- Sharma, S., & Chhipa, R. C. (2012). Evaluation and optimization of water quality index for ground water source of North West Jaipur and agglomerates. *International Journal of Chemical Sciences*, 10(4), 2297-2305. www.sadgurupublications.com
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico* (L. D. López Escobar, Ed.; Primera edición). Ediciones de la U.
- Singh, P. K., & Tewari, R. K. (2003). Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of Brassica juncea L. plants. *Journal of Environmental Biology*, 24(1), 107-112. <https://www.researchgate.net/publication/10568114>
- Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, Á., & Garcés Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109-123.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.
- Triola, M. F. (2009). *Estadística* (R. Hernández Ramírez & L. E. Pineda Ayala, Eds.; Décima Edición). Pearson Educación.
- Trottier, J. (2008). Water crises: Political construction or physical reality? *Contemporary Politics*, 14(2), 197-214. <https://doi.org/10.1080/13569770802176929>

- United Nations. Department of Economic and Social Affairs. (2007). *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies*. (Third Edition). United Nations.
- Useche Castro, L. M., & Mesa Ávila, D. M. (2006). Una introducción a la imputación de valores perdidos. *Terra*, XXII(31), 127-152.
- Valdes Basto, J., Samboni Ruiz, N. E., & Carvajal Escobar, Y. (2011). Desarrollo de un Indicador de la Calidad del Agua usando Estadística Aplicada, Caso de Estudio: Subcuenca Zanjón Oscuro. *Tecno Lógicas*, 26, 165-180.
- Valencia Vento, N. (2019). *Efectos de la extracción de turba en la composición y estructura florística del bofedal de Milloc, Carampoma, Huarochirí, Lima* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4037>
- Van Geen, A., Bravo, C., Gil, V., Sherpa, S., & Jack, D. (2012). Lead exposure from soil in Peruvian mining towns: a national assessment supported by two contrasting examples. *Bulletin of the World Health Organization*, 90(12), 878-886. <https://doi.org/10.2471/BLT.12.106419>
- Venkata Mohan, S., Nithila, P., & Jayarama Reddy, S. (1996). Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 31(2), 283-289.
- Wang, B., Zhu, Y., Bai, Z., Luque, R., & Xuan, J. (2017). Functionalized chitosan biosorbents with ultra-high performance, mechanical strength and tunable selectivity for heavy metals in wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 325, 350-359. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.05.065>
- Wieland Fernandini, P. (2017). *Introducción al Derecho Ambiental* (Pontificia Universidad Católica del Perú, Ed.; 1a ed.). Aleph Impresiones S.R.L.
- Yupari, A. (2004). *Informe: Pasivos Ambientales Mineros en Sudamérica*.

Anexos

Anexo 1: Muestreo de niveles de fondo de calidad de agua y suelo.....	1
Anexo 2: Panel fotográfico del muestreo de agua y suelo.....	13
Anexo 3: Análisis exploratorio de datos.....	15
Anexo 4: Cálculo del ICARHS.....	19
Anexo 5: Cálculo de los índices de contaminación.....	33
Anexo 6: Fichas de campo para evaluación de estado del bofedal Milloc.....	43
Anexo 7: Panel fotográfico de la evaluación del bofedal Milloc.....	47
Anexo 8: Informes de análisis especial en suelo y foliar.....	50
Anexo 9: Listado de especies de flora identificadas.....	53
Anexo 10: Mapas.....	55

Anexo 1

Muestreo de niveles de fondo de calidad de agua y suelo



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1816048**

RETIS LANDAURO VICTOR HUGO

Av. 2 de Octubre Mz. B Lt. 12 Urb. El Olivar del Norte

ENV / LB-344501-003

Fecha de Recepción SGS : 08-08-2018

Fecha de Ejecución : Del 08-08-2018 al 14-08-2018

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
PM-A-01
PM-A-02
PM-A-03
PM-A-04

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 14/08/2018

**Rocio J. Manrique Torres
C.I.P. 136634
Coordinador de Laboratorio**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1816048**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PM-A-01	PM-A-02	PM-A-03
FECHA DE MUESTREO					05/08/2018	05/08/2018	05/08/2018
HORA DE MUESTREO					10:03:00	10:50:00	12:18:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL	AGUA NATURAL	AGUA NATURAL
SUBCATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Metales Totales							
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	0.033	0.712	0.027
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	0.00114	0.00183	0.00108
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.01614	0.00680	0.01314
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0348	0.0052	0.0063
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	0.00021	<0.00006
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	<0.00003	<0.00003
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	0.078	0.013	<0.006
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	0.00413	<0.00003
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	39.635	23.611	19.047
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	<0.00024	0.00206	<0.00024
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0050	0.0013	<0.0003
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00019	0.00466	<0.00003
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.00699	0.23316	0.00168
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	<0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.5622	0.1068	0.1029
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	0.047	<0.047	<0.047	<0.047
Galio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	<0.00012	<0.00012	<0.00012
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	0.0876	5.1666	0.0290
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015	<0.0015
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0260	0.0067	0.0014
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	5.758	1.857	0.813
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.02022	0.51392	0.02453
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00427	0.00067	0.00139
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	0.0017	<0.0006
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010	<0.000010
Plomo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	0.0226	<0.0006
Potasio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	0.80	0.47	0.28



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1816048**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PM-A-01	PM-A-02	PM-A-03
FECHA DE MUESTREO					05/08/2018	05/08/2018	05/08/2018
HORA DE MUESTREO					10:03:00	10:50:00	12:18:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL	AGUA NATURAL	AGUA NATURAL
SUBCATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Metales Totales							
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0027	0.0016	<0.0009
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013	<0.0013	<0.0013
Silice Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09	0.27	6.03 *	12.02 *	3.24 *
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	2.82	5.62	1.51
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006	0.019	3.823	2.364	1.629
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Tantalo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Thorio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0008	0.0013	0.0010
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	0.000266	0.001030	0.000050
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	0.00017	<0.00006
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008	0.0026	0.0222	0.7473	0.0061
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	<0.00045	<0.00045

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PM-A-04
FECHA DE MUESTREO					05/08/2018
HORA DE MUESTREO					12:35:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUBCATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Metales Totales					
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	0.048
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	0.00124
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.01111
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0051



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1816048

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PM-A-04
FECHA DE MUESTREO					05/08/2018
HORA DE MUESTREO					12:35:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUBCATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Metales Totales					
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	<0.006
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	15.436
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	<0.00024
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.00180
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0982
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	0.047	<0.047
Galio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	<0.00012
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	0.0299
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0011
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	0.673
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.00719
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00088
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010
Plomo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Potasio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	0.35
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0009	<0.0009
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013
Silice Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09	0.27	3.41 *
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	1.59



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1816048**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PM-A-04
FECHA DE MUESTREO					05/08/2018
HORA DE MUESTREO					12:35:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUBCATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Metales Totales					
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006	0.019	1.348
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Tantalio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	<0.003
torio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0008
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	0.000040
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008	0.0026	0.0116
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1816048**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Limite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Aluminio Total	mg/L	0.003	<0.003	0 - 8%	105%	99%	1%
Antimonio Total	mg/L	0.00013	<0.00013	0 - 4%	99%	102%	3%
Arsénico Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0 - 4%	99 - 109%	104%	1%
Bario Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 7%	96 - 98%	102%	1%
Berilio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0 - 5%	93 - 96%	95%	2%
Bismuto Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0 - 8%	95 - 96%	102%	2%
Boro Total	mg/L	0.006	<0.006	0 - 7%	101%	100%	6%
Cadmio Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0 - 4%	99 - 101%	106%	2%
Calcio Total	mg/L	0.009	<0.009	0 - 6%	104 - 106%	99%	1%
Cerio Total	mg/L	0.00024	<0.00024	0 - 8%	100 - 105%	106%	3%
Cesio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 6%	102%	108%	1%
Cobalto Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0 - 7%	103 - 107%	106%	2%
Cobre Total	mg/L	0.00009	<0.00009	0 - 6%	97 - 106%	100%	1%
Cromo Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0%	103 - 107%	100%	8%
Estatio Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0%	101%	101%	3%
Estroncio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 3%	101 - 109%	103%	2%
Fósforo Total	mg/L	0.047	<0.047	0 - 3%	101%	98%	1%
Gaio Total	mg/L	0.00012	<0.00012	0 - 4%	97%	102%	1%
Germanio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	96 - 101%	100%	0%
Hafnio Total	mg/L	0.00015	<0.00015	0 - 5%	97 - 100%	103%	1%
Hierro Total	mg/L	0.0013	<0.0013	0 - 7%	105 - 107%	98%	1%
Lantano Total	mg/L	0.0015	<0.0015	0%	95 - 103%	106%	3%
Litio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 8%	97 - 102%	98%	2%
Lutecio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0 - 7%	91 - 99%	100%	3%
Magnesio Total	mg/L	0.003	<0.003	0 - 4%	106 - 107%	101%	1%
Manganeso Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0 - 8%	104 - 105%	101%	1%
Mercurio Total	mg/L	0.00009	<0.00009	0%	98 - 106%	99%	1%
Molibdeno Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0 - 8%	99 - 101%	105%	2%
Niobio Total	mg/L	0.0015	<0.0015	0%	92 - 99%	94%	3%
Niquel Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 6%	104 - 108%	103%	1%
Plata Total	mg/L	0.000010	<0.000010	0%	99 - 106%	102%	2%
Plomo Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 5%	101 - 104%	104%	1%
Potasio Total	mg/L	0.13	<0.13	0 - 3%	102%	108%	6%
Rubidio Total	mg/L	0.0009	<0.0009	0 - 7%	101 - 106%	107%	2%
Selenio Total	mg/L	0.0013	<0.0013	0 - 1%	95 - 99%	101%	1%
Silicio Total	mg/L	0.27	<0.27	0 - 5%	107%	93%	2%
Sodio Total	mg/L	0.13	<0.13	0 - 5%	107%	93%	2%
Sodio Total	mg/L	0.019	<0.019	0 - 7%	102 - 105%	96%	1%
Taio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0 - 6%	102 - 105%	108%	1%
Tantalio Total	mg/L	0.0021	<0.0021	0%	101 - 106%	105%	4%
Teluro Total	mg/L	0.003	<0.003	0%	92 - 105%	96%	5%
Thorio Total	mg/L	0.00019	<0.00019	0%	99 - 105%	105%	2%
Titanio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 6%	105%	104%	3%
Uranio Total	mg/L	0.000010	<0.000010	0 - 8%	104 - 105%	102%	2%
Vanadio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 1%	103 - 107%	108%	2%
Wolframio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 3%	102 - 105%	104%	5%
Yterbio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0 - 6%	96 - 105%	106%	2%
Zinc Total	mg/L	0.0026	<0.0026	0 - 8%	104%	99%	1%
Zirconio Total	mg/L	0.00045	<0.00045	0%	101 - 105%	100%	5%



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1816048**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_EPA200_8	Callao	Metales Totales	EPA 200.8, Rev 5.4: 1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

(*) El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL - DA , para la matriz en mención.

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fé publica y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS de Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Ultima Revisión Julio 2015



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1816049**

RETIS LANDAURO VICTOR HUGO

Av. 2 de Octubre Mz. B Lt. 12 Urb. El Olivar del Norte

ENV / LB-344501-004

PROCEDENCIA : CUENCA SANTA EULALIA

Fecha de Recepción SGS : 08-08-2018
Fecha de Ejecución : Del 08-08-2018 al 16-08-2018
Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
PM-S-01
PM-S-02

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 16/08/2018

Rocio J. Manrique Torres
C.I.P. 136634
Coordinador de Laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1816049

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PM-S-01	PM-S-02
FECHA DE MUESTREO					8720522N / 353465E	8721167N / 354571E
HORA DE MUESTREO					05/08/2018	05/08/2018
MATRIZ					11:53:00	12:18:00
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
Metales						
Cobre	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	210.124	12.792
Aluminio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.602	19,297.788	22,260.213
Antimonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	2.205	1.264
Arsénico	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.897	2.857	358.896	33.922
Bario	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	41.989	76.228
Berilio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	0.538	1.133
Bismuto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	0.406	0.185
Boro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.399	17.195	<17.195	<17.195
Cadmio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	0.820	0.592
Calcio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.382	208.223	1,611.670	2,953.577
Circonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	0.380	0.405
Cobalto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	17.476	6.497
Cromo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	6.779	4.417
Escandio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	2.700	2.232
Estaño	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	<0.940	<0.940
Estroncio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	8.068	13.613
Fosforo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	447.869	1,106.531
Hierro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	28,441.913	16,508.848
Lantano	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	8.311	13.260
Litio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	77.3	12.2
Magnesio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	6,755.264	2,804.564
Manganeso	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	1,529.982	904.922
Mercurio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	<0.262	<0.262
Molibdeno	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	33.727	1.606
Niquel	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	4.740	4.153
Plata	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.084	0.268	0.426	<0.268
Plomo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	354.742	35.917
Potasio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	1,018.104	927.078
Selenio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	<3.605	<3.605
Sodio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.136	76.104	78.906
Talio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	0.406	0.143
Thorio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	4.003	1.858
Titanio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	184.886	109.787
Uranio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	2.481	0.813
Vanadio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	26.385	20.807
Wolframio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	9.810	0.293
Ytrio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	10.863	7.077



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1816049**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PM-S-01	PM-S-02
					8720522N / 353465E	8721167N / 354571E
FECHA DE MUESTREO					05/08/2018	05/08/2018
HORA DE MUESTREO					11:53:00	12:18:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
Metales						
Zinc	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	122.199	51.298



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1816049**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
 MB: Blanco del proceso.
 LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
 MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
 MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
 Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Cobre	mg/kg	1.136	<1.136	2 - 8%	106%	90%	2%
Aluminio	mg/kg	8.602	<8.602	2 - 9%	99 - 108%	99 - 108%	1 - 3%
Antimonio	mg/kg	0.131	<0.131	0 - 5%	99%	101%	1%
Arsénico	mg/kg	2.857	<2.857	1 - 7%	100%	109%	0%
Bario	mg/kg	0.440	<0.440	1 - 7%	104%	106%	0%
Berilio	mg/kg	0.173	<0.173	1 - 9%	111%	112%	0%
Bismuto	mg/kg	0.103	<0.103	0 - 6%	106%	106%	3%
Boro	mg/kg	17.195	<17.195	0 - 6%	89%	97%	1%
Cadmio	mg/kg	0.144	<0.144	9 - 11%	99%	98%	1%
Calcio	mg/kg	208.223	<208.223	2 - 6%	99%	98%	0%
Circonio	mg/kg	0.147	<0.147	1 - 9%	110%	111%	0%
Cobalto	mg/kg	0.128	<0.128	1 - 8%	97%	109%	1%
Cromo	mg/kg	1.001	<1.001	2 - 9%	88%	97%	1%
Escandio	mg/kg	0.317	<0.317	1 - 8%	94%	89%	5%
Estaño	mg/kg	0.940	<0.940	0 - 6%	112%	113%	0%
Estroncio	mg/kg	0.822	<0.822	0 - 5%	112%	112%	0%
Fosforo	mg/kg	15.157	<15.157	2 - 7%	112%	108%	1%
Hierro	mg/kg	29.302	<29.302	0 - 7%	110%	111%	1%
Lantano	mg/kg	0.103	<0.103	0 - 7%	106%	107%	1%
Litio	mg/kg	3.0	<3.0	1 - 8%	106%	112%	0%
Magnesio	mg/kg	17.545	<17.545	0 - 6%	112%	112%	0%
Manganeso	mg/kg	0.643	<0.643	0 - 9%	94%	89%	2%
Mercurio	mg/kg	0.262	<0.262	0 - 9%	91%	95%	2%
Molibdeno	mg/kg	0.182	<0.182	1 - 9%	97%	101%	3%
Niquel	mg/kg	0.498	<0.498	1 - 6%	111%	111%	0%
Plata	mg/kg	0.268	<0.268	1 - 8%	100%	102%	1%
Plomo	mg/kg	0.346	<0.346	9 - 12%	101%	96%	1%
Potasio	mg/kg	42.993	<42.993	1 - 8%	112%	112%	1%
Selenio	mg/kg	3.605	<3.605	0 - 8%	112%	112%	0%
Sodio	mg/kg	24.136	<24.136	9 - 10%	96%	99%	1%
Talio	mg/kg	0.093	<0.093	0 - 5%	111%	112%	0%
Tiomo	mg/kg	0.112	<0.112	0 - 8%	112%	109%	2%
Titanio	mg/kg	0.251	<0.251	0 - 6%	108%	105%	2%
Uranio	mg/kg	0.102	<0.102	1 - 8%	93%	89%	4%
Vanadio	mg/kg	4.737	<4.737	0 - 7%	101%	100%	1%
Wolframio	mg/kg	0.231	<0.231	0 - 7%	101%	102%	4%
Ytrio	mg/kg	0.096	<0.096	1 - 6%	102%	110%	1%
Zinc	mg/kg	1.934	<1.934	0 - 8%	102%	105%	1%



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1816049**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
ES_EPA3051_6020	Callao	Metales	EPA 3051A:2007. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils/EPA 6020A:2007. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

Los resultados de las muestras expresados en mg/Kg se calculan sobre base seca.

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS de Perú S.A.C.
Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

Anexo 2

Panel fotográfico del muestreo de agua y suelo

Fotografía 1

Muestreo de calidad de agua en el efluente de la laguna Milloc.



Fotografía 2

Muestreo de calidad de agua en la salida de la laguna Canchis.



Fotografía 2

Muestreo de calidad de agua en la salida de la laguna S/N.



Fotografía 4

Muestreo de calidad de suelo alrededor de la laguna Canchis.



Fotografía 5

Muestreo de calidad de suelo alrededor de la laguna S/N.



Anexo 3

Análisis exploratorio de datos

Tabla 1

Resultados del análisis exploratorio de datos por estación de monitoreo y temporada.

Estación	Parámetros	DBO ₅	DQO	OD	CTT	P	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb	Cu	Zn
		mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	mg/l	Und pH	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Temporada	5	20	≥5	2 000	0,15	5,5 a 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05	2	5
AS1	Mín	0,50	1,00	6,53	0,9	0,0075	7,94	0,0078	0,1330	0,01686	0,0843	0,000005	0,0003	0,0026	0,0112
	Máx	1,30	1,00	7,32	23,0	0,0235	8,60	0,0168	0,8560	0,05783	0,9184	0,000015	0,0058	0,0274	0,0533
	M	1,14	1,00	6,97	5,3	0,0203	8,33	0,0122	0,3844	0,04177	0,4609	0,000013	0,0018	0,0096	0,0261
	DS	0,36	0,00	0,33	9,9	0,0072	0,24	0,0032	0,3016	0,01558	0,3339	0,000004	0,0023	0,0101	0,0169
	Var	0,13	0,00	0,11	97,7	0,0000	0,06	0,0000	0,0910	0,00000	0,1120	0,000000	0,0000	0,0000	0,0000
	Mín	0,50	1,00	5,79	0,9	0,0075	7,68	0,0130	0,1550	0,03396	0,1830	0,000015	0,0006	0,0088	0,0278
	Máx	1,30	1,00	7,13	0,9	0,0235	8,35	0,0190	0,2920	0,05800	0,2939	0,000340	0,0040	0,0204	0,0548
	M	1,14	1,00	6,57	0,9	0,0203	8,09	0,0157	0,2316	0,04569	0,2327	0,000119	0,0017	0,0123	0,0367
	DS	0,36	0,00	0,51	0,0	0,0072	0,28	0,0022	0,0597	0,00906	0,0484	0,000150	0,0014	0,0047	0,0114
	Var	0,13	0,00	0,26	0,0	0,0000	0,08	0,0000	0,0040	0,00000	0,0020	0,000000	0,0000	0,0000	0,0000
AS2	Mín	1,00	1,00	6,59	0,9	0,0075	8,18	0,0101	0,0690	0,01406	0,0716	0,000005	0,0003	0,0000	0,0101
	Máx	1,30	1,00	7,34	2,0	0,0235	8,54	0,0144	0,9290	0,05868	0,8299	0,000015	0,0046	0,0209	0,0415
	M	1,24	1,00	7,05	1,1	0,0203	8,39	0,0123	0,3194	0,03574	0,3167	0,000013	0,0015	0,0068	0,0182
	DS	0,13	0,00	0,29	0,5	0,0072	0,14	0,0016	0,3562	0,01804	0,3099	0,000004	0,0018	0,0081	0,0133
	Var	0,02	0,00	0,08	0,2	0,0000	0,02	0,0000	0,1270	0,00000	0,0960	0,000000	0,0000	0,0000	0,0000
	Mín	0,50	1,00	5,69	0,9	0,0075	7,81	0,0129	0,1230	0,02127	0,1287	0,000015	0,0003	0,0065	0,0168
	Máx	1,30	1,00	7,09	2,0	0,0235	8,36	0,0180	0,3060	0,05010	0,2501	0,000380	0,0024	0,0191	0,0578
	M	1,14	1,00	6,57	1,1	0,0203	8,17	0,0153	0,1774	0,03020	0,1706	0,000129	0,0009	0,0100	0,0300
	DS	0,36	0,00	0,52	0,5	0,0072	0,22	0,0023	0,0739	0,01162	0,0508	0,000166	0,0009	0,0052	0,0168
	Var	0,13	0,00	0,28	0,2	0,0000	0,05	0,0000	0,0050	0,00000	0,0030	0,000000	0,0000	0,0000	0,0000

Estación	Parámetros	DBO ₅	DQO	OD	CTT	P	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb	Cu	Zn	
		mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	mg/l	Und pH	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Temporada	5	20	≥5	2 000	0,15	5,5 a 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05	2	5	
AS4	Húmeda	Mín	1,00	1,00	5,81	0,9	0,0075	7,53	0,0029	0,0560	0,01215	0,0603	0,000015	0,0003	0,0000	0,0051
		Máx	1,30	1,00	7,82	23,0	0,0235	8,59	0,0383	2,3680	0,40639	1,5681	0,001230	0,0101	0,0038	0,4406
		M	1,24	1,00	6,97	6,0	0,0203	7,86	0,0123	0,6728	0,24759	0,4629	0,000705	0,0048	0,0016	0,3171
		DS	0,13	0,00	0,87	9,6	0,0072	0,43	0,0150	0,9553	0,14654	0,6230	0,000497	0,0036	0,0016	0,1774
		Var	0,02	0,00	0,77	92,3	0,0000	0,18	0,0000	0,9130	0,02100	0,3880	0,000000	0,0000	0,0000	0,0310
AS4	Seca	Mín	0,50	1,00	5,39	0,9	0,0075	7,12	0,0052	0,0480	0,01215	0,0509	0,000015	0,0003	0,0011	0,0187
		Máx	1,30	1,00	8,33	23,0	0,0235	8,52	0,0129	0,9370	0,94600	0,9110	0,001400	0,0141	0,0032	1,4010
		M	1,14	1,00	6,91	6,0	0,0203	7,62	0,0099	0,6668	0,66691	0,6427	0,000979	0,0079	0,0022	0,8810
		DS	0,36	0,00	1,05	9,6	0,0072	0,57	0,0033	0,3743	0,37968	0,3448	0,000555	0,0052	0,0009	0,5132
		Var	0,13	0,00	1,10	92,3	0,0000	0,33	0,0000	0,1400	0,14400	0,1190	0,000000	0,0000	0,0000	0,2630
AS5	Húmeda	Mín	1,10	1,00	6,12	0,9	0,0075	7,14	0,0031	0,2970	0,23258	0,2263	0,000470	0,0045	0,0000	0,3566
		Máx	1,30	1,00	7,78	7,8	0,0235	7,91	0,0100	1,8520	0,68751	1,2092	0,001200	0,0095	0,0043	0,5334
		M	1,26	1,00	7,06	3,0	0,0203	7,63	0,0066	0,6478	0,38804	0,4990	0,000780	0,0066	0,0017	0,4178
		DS	0,09	0,00	0,66	3,1	0,0072	0,30	0,0027	0,6744	0,17813	0,4066	0,000306	0,0020	0,0016	0,0676
		Var	0,01	0,00	0,44	9,6	0,0000	0,09	0,0000	0,4550	0,03200	0,1650	0,000000	0,0000	0,0000	0,0050
	Seca	Mín	0,50	1,00	5,40	0,9	0,0075	7,05	0,0001	0,7860	0,66829	0,6533	0,000030	0,0069	0,0012	0,8322
		Máx	1,30	1,00	6,81	7,8	0,0235	7,72	0,0134	0,9070	1,02449	1,0168	0,001550	0,0163	0,0031	1,4944
		M	1,14	1,00	6,19	2,9	0,0203	7,42	0,0096	0,8498	0,80723	0,8623	0,000998	0,0105	0,0024	1,0483
		DS	0,36	0,00	0,70	2,8	0,0072	0,31	0,0054	0,0436	0,15822	0,1310	0,000592	0,0038	0,0007	0,2601
		Var	0,13	0,00	0,49	7,6	0,0000	0,09	0,0000	0,0020	0,02500	0,0170	0,000000	0,0000	0,0000	0,0680
AS6	Húmeda	Mín	1,10	1,00	6,67	0,9	0,0075	7,94	0,0040	0,0790	0,02094	0,0811	0,000015	0,0007	0,0000	0,0178
		Máx	1,30	1,00	7,59	7,8	0,0530	8,19	0,0126	2,0300	0,68187	1,2572	0,000530	0,0124	0,0031	0,5360
		M	1,26	1,00	7,26	3,4	0,0315	8,11	0,0065	0,8292	0,17367	0,6351	0,000230	0,0038	0,0022	0,1378
		DS	0,09	0,00	0,38	2,8	0,0194	0,10	0,0036	0,9017	0,28522	0,5610	0,000218	0,0049	0,0014	0,2234
		Var	0,01	0,00	0,15	7,7	0,0000	0,01	0,0000	0,8130	0,08100	0,3150	0,000000	0,0000	0,0000	0,0500
	Seca	Mín	0,50	1,00	5,87	0,9	0,0075	7,66	0,0045	0,0060	0,01184	0,0751	0,000005	0,0003	0,0000	0,0167
		Máx	1,30	1,00	8,18	4,5	0,0235	8,49	0,0170	0,9030	0,68187	0,9536	0,001650	0,0118	0,0048	0,8258
		M	1,14	1,00	7,05	2,1	0,0203	8,10	0,0089	0,2360	0,15487	0,2744	0,000660	0,0029	0,0022	0,1916
		DS	0,36	0,00	0,99	1,5	0,0072	0,30	0,0052	0,3752	0,29504	0,3811	0,000789	0,0050	0,0018	0,3550
		Var	0,13	0,00	0,98	2,2	0,0000	0,09	0,0000	0,1410	0,08700	0,1450	0,000000	0,0000	0,0000	0,1260

Estación	Parámetros	DBO ₅	DQO	OD	CTT	P	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb	Cu	Zn	
		mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	mg/l	Und pH	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Temporada	5	20	≥5	2 000	0,15	5,5 a 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05	2	5	
AS8	Húmeda	Mín	0,50	1,00	5,95	0,9	0,0075	7,91	0,0040	0,0900	0,02748	0,1320	0,000005	0,0007	0,0012	0,0083
		Máx	1,30	1,00	7,77	4,5	0,0570	8,35	0,0140	1,9080	0,08493	1,3369	0,000015	0,0043	0,0137	0,0662
		M	1,14	1,00	7,19	1,8	0,0270	8,16	0,0103	0,6924	0,05714	0,5648	0,000013	0,0019	0,0056	0,0339
		DS	0,36	0,00	0,72	1,6	0,0181	0,20	0,0044	0,8224	0,02378	0,5557	0,000004	0,0015	0,0049	0,0213
		Var	0,13	0,00	0,52	2,4	0,0000	0,04	0,0000	0,6760	0,00100	0,3090	0,000000	0,0000	0,0000	0,0000
AS8	Seca	Mín	0,50	1,00	6,38	0,9	0,0075	7,91	0,0040	0,1290	0,03257	0,1702	0,000015	0,0003	0,0076	0,0238
		Máx	1,30	1,00	8,12	6,8	0,0235	8,54	0,0210	0,3110	0,07100	0,2760	0,000360	0,0019	0,0201	0,0675
		M	1,14	1,00	7,42	2,8	0,0203	8,26	0,0151	0,2170	0,04948	0,2253	0,000137	0,0011	0,0109	0,0472
		DS	0,36	0,00	0,64	2,7	0,0072	0,29	0,0067	0,0694	0,01434	0,0495	0,000169	0,0007	0,0052	0,0196
		Var	0,13	0,00	0,41	7,4	0,0000	0,08	0,0000	0,0050	0,00000	0,0020	0,000000	0,0000	0,0000	0,0000
LCanc1	Húmeda	Mín	1,00	3,70	5,90	0,9	0,0050	4,47	0,0005	0,1200	0,49770	0,4490	0,002760	0,0005	0,0512	0,5030
		Máx	3,00	4,50	7,02	0,9	0,0330	6,72	0,0040	3,0100	0,73940	3,1100	0,011100	0,0603	0,5180	0,9350
		M	1,80	4,02	6,57	0,9	0,0214	5,51	0,0016	1,1102	0,59466	1,2438	0,006912	0,0217	0,2448	0,7030
		DS	1,10	0,44	0,45	0,0	0,0150	0,93	0,0014	1,2511	0,09228	1,0915	0,002952	0,0235	0,1855	0,1670
		Var	1,20	0,19	0,20	0,0	0,0000	0,86	0,0000	1,5650	0,00900	1,1910	0,000000	0,0010	0,0340	0,0280
	Seca	Mín	1,00	1,00	3,45	0,9	0,0010	3,34	0,0005	1,1630	0,38042	0,4690	0,003640	0,0141	0,2330	0,6571
		Máx	1,50	3,70	7,34	0,9	0,0320	7,55	0,0117	4,7580	1,14800	5,0960	0,018070	0,0758	0,7926	1,6590
		M	1,14	3,31	6,41	0,9	0,0105	5,10	0,0051	2,7007	0,77841	2,9589	0,008939	0,0311	0,4665	1,0543
		DS	0,24	1,02	1,35	0,0	0,0115	1,39	0,0040	1,4698	0,29378	1,7428	0,005284	0,0207	0,2040	0,3542
		Var	0,06	1,04	1,82	0,0	0,0000	1,94	0,0000	2,1600	0,08600	3,0370	0,000000	0,0000	0,0420	0,1250
QColl1	Húmeda	Mín	1,00	4,50	7,00	2,0	0,0050	7,05	0,0030	0,1800	0,04300	0,1460	0,000200	0,0030	0,0010	0,0780
		Máx	3,00	6,00	7,80	170,0	0,6600	8,26	0,0200	20,7800	1,85170	18,7460	0,002500	0,0380	0,0195	0,4100
		M	1,50	5,13	7,37	52,3	0,1905	7,66	0,0085	5,3880	0,54868	4,8813	0,000978	0,0134	0,0061	0,2978
		DS	1,00	0,63	0,42	79,8	0,3147	0,49	0,0078	10,2616	0,87293	9,2435	0,001045	0,0167	0,0090	0,1506
		Var	1,00	0,40	0,17	6362,9	0,0990	0,25	0,0000	105,3000	0,76200	85,4430	0,000000	0,0000	0,0000	0,0230
	Seca	Mín	1,00	1,00	4,45	0,9	0,0045	7,12	0,0020	0,0690	0,02745	0,0750	0,000005	0,0020	0,0009	0,0524
		Máx	1,50	38,00	8,59	230,0	0,0180	8,15	0,0056	0,6400	0,16033	0,5710	0,000850	0,0131	0,0090	0,2974
		M	1,19	12,71	7,02	34,8	0,0084	7,56	0,0040	0,2359	0,09856	0,2393	0,000344	0,0051	0,0028	0,1670
		DS	0,24	13,79	1,30	86,1	0,0059	0,31	0,0012	0,2009	0,04296	0,1919	0,000302	0,0040	0,0029	0,0737
		Var	0,06	190,24	1,70	7410,4	0,0000	0,10	0,0000	0,0400	0,00200	0,0370	0,000000	0,0000	0,0000	0,0050

Estación	Parámetros	DBO ₅	DQO	OD	CTT	P	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb	Cu	Zn	
		mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	mg/l	Und pH	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Temporada	5	20	≥5	2 000	0,15	5,5 a 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05	2	5	
QLeon1	Húmeda	Mín	1,00	4,50	5,60	0,9	0,0050	5,97	0,0005	0,0700	0,00940	0,0140	0,000200	0,0002	0,0010	0,0030
		Máx	3,00	8,00	7,02	7,8	0,0690	7,10	0,0015	0,2900	0,06700	0,0480	0,000300	0,0016	0,0015	0,0130
		M	1,80	5,40	6,42	2,3	0,0180	6,68	0,0010	0,1728	0,03310	0,0258	0,000240	0,0007	0,0012	0,0086
		DS	1,10	1,47	0,55	3,1	0,0285	0,43	0,0005	0,0986	0,02404	0,0137	0,000055	0,0005	0,0002	0,0040
		Var	1,20	2,18	0,31	9,5	0,0010	0,19	0,0000	0,0100	0,00100	0,0000	0,000000	0,0000	0,0000	0,0000
QLeon1	Seca	Mín	1,00	1,00	6,28	2,0	0,0050	7,02	0,0021	0,0600	0,00578	0,0187	0,000005	0,0001	0,0006	0,0050
		Máx	1,30	23,00	7,02	9,3	0,0050	7,55	0,0026	0,1200	0,01199	0,0726	0,000005	0,0018	0,0022	0,0147
		M	1,15	12,00	6,65	5,7	0,0050	7,29	0,0023	0,0900	0,00889	0,0457	0,000005	0,0010	0,0014	0,0099
		DS	0,21	15,56	0,52	5,2	0,0000	0,37	0,0004	0,0424	0,00439	0,0381	0,000000	0,0012	0,0011	0,0069
		Var	0,05	242,00	0,27	26,6	0,0000	0,14	0,0000	0,0020	0,00000	0,0010	0,000000	0,0000	0,0000	0,0000
RSeul1	Húmeda	Mín	1,00	4,50	7,02	230,0	0,0050	7,16	0,0090	0,5400	0,10200	0,5400	0,000200	0,0087	0,0221	0,2590
		Máx	3,00	11,00	9,44	49 000,0	0,1360	8,26	0,0231	1,9200	0,20190	2,2180	0,002030	0,0250	0,0481	0,4030
		M	1,80	6,00	8,28	12566,0	0,0640	7,82	0,0166	1,2434	0,14682	1,3794	0,001466	0,0170	0,0341	0,3266
		DS	1,10	2,81	1,03	20539,2	0,0497	0,50	0,0063	0,6748	0,04071	0,7407	0,000746	0,0069	0,0093	0,0556
		Var	1,20	7,88	1,05	421857780,0	0,0020	0,25	0,0000	0,4550	0,00200	0,5490	0,000000	0,0000	0,0000	0,0030
	Seca	Mín	1,00	1,00	7,02	220,0	0,0050	7,45	0,0070	0,1230	0,02267	0,1770	0,000005	0,0017	0,0048	0,0050
		Máx	3,00	38,00	11,80	23000,0	0,1630	8,41	0,0360	5,0700	0,34700	5,4990	0,002910	0,0480	0,0480	0,4880
		M	1,42	10,11	7,91	5270,0	0,0671	7,90	0,0154	1,0896	0,12494	1,2683	0,001229	0,0121	0,0226	0,2619
		DS	0,68	11,30	1,61	8522,1	0,0647	0,38	0,0085	1,6672	0,10277	1,8527	0,001051	0,0150	0,0126	0,1697
		Var	0,47	127,61	2,58	72625675,0	0,0040	0,14	0,0000	2,7800	0,01100	3,4320	0,000000	0,0000	0,0000	0,0290

Anexo 4

Cálculo del ICARHS

Tabla 1

Resultados de monitoreo de la estación AS1 – materia orgánica.

Monitoreo	Materia orgánica					
ECA Cat, 1-A2	BDO ₅	DQO	OD	CT	P	NH ₃
	5	20	<5	2 000	0,15	1,5
Época seca						
Jun-17	0,5	(-)	6,59	0,9	(-)	(-)
Jun-18	1,3	(-)	6,46	0,9	(-)	(-)
Jun-19	1,3	(-)	5,79	0,9	(-)	(-)
Jun-20	1,3	(-)	6,9	0,9	(-)	(-)
Jun-21	1,3	(-)	7,13	0,9	(-)	(-)
Época húmeda						
Dic-17	0,5	(-)	7,03	0,9	(-)	(-)
Dic-18	1,3	(-)	7,22	0,9	(-)	(-)
Dic-19	1,3	(-)	7,32	0,9	(-)	(-)
Dic-20	1,3	(-)	6,53	0,9	(-)	(-)
Dic-21	1,3	(-)	6,76	23	(-)	(-)

Tabla 2

Resultados de monitoreo de la estación AS1 – fisicoquímico.

Monitoreo	Fisicoquímico (metal)						
ECA Cat, 1-A2	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb
	5,5 - 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05
Época seca							
Jun-17	7,93	0,016	0,288	0,058	0,2667	0,00034	0,0023
Jun-18	8,16	0,013	0,155	0,03396	0,183	0,000015	0,0006
Jun-19	8,33	0,01898	0,192	0,04492	0,2318	0,000015	0,0008
Jun-20	8,35	0,0153	0,292	0,0414	0,2939	0,000015	0,004
Jun-21	7,68	0,01497	0,231	0,05018	0,188	0,00021	0,0009
Época húmeda							
Dic-17	8,39	0,013	0,133	0,01686	0,0843	0,000005	0,0004
Dic-18	8,41	0,012	0,159	0,0416	0,2024	0,000015	0,0008
Dic-19	8,3	0,0078	0,856	0,05783	0,9184	0,000015	0,0058
Dic-20	8,6	0,0112	0,504	0,0514	0,4711	0,000015	0,0003
Dic-21	7,94	0,01678	0,27	0,04118	0,6282	0,000015	0,0019

Tabla 3

Análisis de datos F1 y F2 – estación AS1.

Subíndice	N° de parámetros que No cumplen los ECA	N° total de parámetros a evaluar	N° de los datos que NO cumplen los ECA	N° total de datos evaluados
S1	0	3	0	30
S2	1	7	9	70

Tabla 4*Análisis de datos F3 – estación AS1.*

Subíndice	Excedente	N° total de datos	Suma Normalizada de Excedentes (SNE)
S1	0,000	30	0,000
S2	4,123	70	0,059

Tabla 5*Determinación de subíndices – estación AS1.*

Subíndice 1 (S1)				Subíndice 2 (S2)			
F1	F2	F3	Valor	F1	F2	F3	Valor
0,00	0,00	0,00	100,00	14,29	12,86	5,56	88,45

Tabla 6*Resultados del ICARHS – estación AS1.*

ICARHS mín (S1, S2)	
Valor	Calificación
88,45	Bueno

Tabla 7*Resultados de monitoreo de la estación AS2 – materia orgánica.*

Monitoreo	Materia orgánica					
ECA Cat, 1-A2	BDO ₅	DQO	OD	CT	P	NH ₃
	5	20	<5	2 000	0,15	1,5
Época seca						
Jun-17	0,5	(-)	6,61	0,9	(-)	(-)
Jun-18	1,3	(-)	6,65	2	(-)	(-)
Jun-19	1,3	(-)	5,69	0,9	(-)	(-)
Jun-20	1,3	(-)	6,79	0,9	(-)	(-)
Jun-21	1,3	(-)	7,09	0,9	(-)	(-)
Época húmeda						
Dic-17	1	(-)	7,04	0,9	(-)	(-)
Dic-18	1,3	(-)	7,03	0,9	(-)	(-)
Dic-19	1,3	(-)	7,25	0,9	(-)	(-)
Dic-20	1,3	(-)	6,59	2	(-)	(-)
Dic-21	1,3	(-)	7,34	0,9	(-)	(-)

Tabla 8*Resultados de monitoreo de la estación AS2 – fisicoquímico.*

Monitoreo	Fisicoquímico (metal)						
ECA Cat, 1-A2	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb
	5,5 - 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05
Época seca							
Jun-17	8,11	0,018	0,306	0,0501	0,2501	0,00038	0,0024
Jun-18	8,28	0,013	0,123	0,0228	0,1287	0,000015	0,0003
Jun-19	8,28	0,01548	0,134	0,02714	0,1909	0,000015	0,0003
Jun-20	8,36	0,01703	0,165	0,02127	0,1508	0,000015	0,0003

Monitoreo		Fisicoquímico (metal)					
ECA Cat, 1-A2	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb
	5,5 - 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05
Jun-21	7,81	0,01292	0,159	0,02967	0,1325	0,00022	0,0011
Época húmeda							
Dic-17	8,32	0,012	0,12	0,01406	0,0716	0,000005	0,0005
Dic-18	8,42	0,012	0,138	0,0268	0,1525	0,000015	0,0011
Dic-19	8,47	0,01006	0,929	0,05868	0,8299	0,000015	0,0046
Dic-20	8,54	0,01299	0,341	0,04949	0,384	0,000015	0,0003
Dic-21	8,18	0,01444	0,069	0,02967	0,14557	0,000015	0,0009

Tabla 9

Análisis de datos F1 y F2 – estación AS2.

Subíndice	N° de parámetros que No cumplen los ECA	N° total de parámetros a evaluar	N° de los datos que NO cumplen los ECA	N° total de datos evaluados
S1	0	3	0	30
S2	1	7	10	70

Tabla 10

Análisis de datos F3 – estación AS2.

Subíndice	Excedente	N° total de datos	Suma Normalizada de Excedentes (SNE)
S1	0,000	30	0,000
S2	3,792	70	0,054

Tabla 11

Determinación de subíndices – estación AS2.

Subíndice 1 (S1)				Subíndice 2 (S2)			
F1	F2	F3	Valor	F1	F2	F3	Valor
0,00	0,00	0,00	100,00	14,29	14,29	5,14	87,96

Tabla 12

Resultados del ICARHS – estación AS2.

ICARHS mín (S1, S2)	
Valor	Calificación
87,96	Bueno

Tabla 13

Resultados de monitoreo de la estación AS4 – materia orgánica.

Monitoreo		Materia orgánica				
ECA Cat, 1-A2	BDO ₅	DQO	OD	CT	P	NH ₃
	5	20	<5	2 000	0,15	1,5
Época seca						
Jun-17	0,5	(-)	6,72	4,5	(-)	(-)
Jun-18	1,3	(-)	7,04	0,9	(-)	(-)
Jun-19	1,3	(-)	5,39	0,9	(-)	(-)
Jun-20	1,3	(-)	7,09	0,9	(-)	(-)

Monitoreo		Materia orgánica				
ECA Cat, 1-A2	BDO ₅	DQO	OD	CT	P	NH ₃
	5	20	<5	2 000	0,15	1,5
Jun-21	1,3	(-)	8,33	23	(-)	(-)
Época húmeda						
Dic-17	1	(-)	6,33	4,5	(-)	(-)
Dic-18	1,3	(-)	7,69	0,9	(-)	(-)
Dic-19	1,3	(-)	7,22	0,9	(-)	(-)
Dic-20	1,3	(-)	7,82	0,9	(-)	(-)
Dic-21	1,3	(-)	5,81	23	(-)	(-)

Tabla 14

Resultados de monitoreo de la estación AS4 – fisicoquímico.

Monitoreo		Fisicoquímico (metal)					
ECA Cat, 1-A2	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb
	5,5 - 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05
Época seca							
Jun-17	7,13	0,011	0,876	0,946	0,911	0,0014	0,0091
Jun-18	7,12	0,008	0,577	0,74091	0,6444	0,00129	0,0058
Jun-19	7,63	0,0124	0,896	0,91533	0,8323	0,00112	0,0141
Jun-20	7,71	0,01292	0,937	0,72017	0,7748	0,00107	0,0102
Jun-21	8,52	0,00518	0,048	0,01215	0,0509	0,000015	0,0003
Época húmeda							
Dic-17	7,53	0,005	0,318	0,28429	0,2526	0,00047	0,0048
Dic-18	7,6	0,003	0,246	0,30698	0,1734	0,00068	0,0033
Dic-19	7,86	0,00291	0,376	0,22816	0,26	0,00113	0,0056
Dic-20	7,73	0,01223	2,368	0,40639	1,5681	0,00123	0,0101
Dic-21	8,59	0,0383	0,056	0,01215	0,0603	0,000015	0,0003

Tabla 15

Análisis de datos F1 y F2 – estación AS4.

Subíndice	N° de parámetros que No cumplen los ECA	N° total de parámetros a evaluar	N° de los datos que NO cumplen los ECA	N° total de datos evaluados
S1	0	3	0	30
S2	3	7	11	70

Tabla 16

Análisis de datos F3 – estación AS4.

Subíndice	Excedente	N° total de datos	Suma Normalizada de Excedentes (SNE)
S1	0,000	30	0,000
S2	8,575	70	0,123

Tabla 17*Determinación de subíndices – estación AS4.*

Subíndice 1 (S1)				Subíndice 2 (S2)			
F1	F2	F3	Valor	F1	F2	F3	Valor
0,00	0,00	0,00	100,00	42,86	15,71	10,91	72,90

Tabla 18*Resultados del ICARHS – estación AS4.*

ICARHS mín (S1, S2)	
Valor	Calificación
72,9	Regular

Tabla 19*Resultados de monitoreo de la estación AS5 – materia orgánica.*

Monitoreo	Materia orgánica					
ECA Cat, 1-A2	BDO ₅	DQO	OD	CT	P	NH ₃
	5	20	<5	2 000	0,15	1,5
Época seca						
Jun-17	0,5	(-)	6,48	2	(-)	(-)
Jun-18	1,3	(-)	6,81	0,9	(-)	(-)
Jun-19	1,3	(-)	5,47	7,8	(-)	(-)
Jun-20	1,3	(-)	6,79	2	(-)	(-)
Jun-21	1,3	(-)	5,4	2	(-)	(-)
Época húmeda						
Dic-17	1,1	(-)	6,12	4,5	(-)	(-)
Dic-18	1,3	(-)	7,54	0,9	(-)	(-)
Dic-19	1,3	(-)	7,15	0,9	(-)	(-)
Dic-20	1,3	(-)	7,78	0,9	(-)	(-)
Dic-21	1,3	(-)	6,73	7,8	(-)	(-)

Tabla 20*Resultados de monitoreo de la estación AS5 – fisicoquímico.*

Monitoreo	Fisicoquímico (metal)						
ECA Cat, 1-A2	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb
	5,5 - 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05
Época seca							
Jun-17	7,14	0,012	0,907	1,02449	0,8895	0,00155	0,0069
Jun-18	7,05	0,0001	0,786	0,73193	1,0168	0,00003	0,0115
Jun-19	7,72	0,0121	0,85	0,92394	0,879	0,00106	0,0163
Jun-20	7,67	0,0104	0,842	0,66829	0,6533	0,00096	0,0072
Jun-21	7,5	0,01339	0,864	0,68751	0,8728	0,00139	0,0108
Época húmeda							
Dic-17	7,14	0,007	0,404	0,30706	0,3698	0,00047	0,0064
Dic-18	7,53	0,005	0,297	0,30897	0,2263	0,00071	0,005
Dic-19	7,75	0,00309	0,365	0,23258	0,2491	0,00098	0,0045
Dic-20	7,8	0,0079	1,852	0,40407	1,2092	0,0012	0,0076
Dic-21	7,91	0,00998	0,321	0,68751	0,4404	0,00054	0,0095

Tabla 21*Análisis de datos F1 y F2 – estación AS5.*

Subíndice	N° de parámetros que No cumplen los ECA	N° total de parámetros a evaluar	N° de los datos que NO cumplen los ECA	N° total de datos evaluados
S1	0	3	0	30
S2	2	7	13	70

Tabla 22*Análisis de datos F3 – estación AS5.*

Subíndice	Excedente	N° total de datos	Suma Normalizada de Excedentes (SNE)
S1	0,000	30	0,000
S2	6,834	70	0,098

Tabla 23*Determinación de subíndices – estación AS5.*

Subíndice 1 (S1)				Subíndice 2 (S2)			
F1	F2	F3	Valor	F1	F2	F3	Valor
0,00	0,00	0,00	100,00	28,57	18,57	8,89	79,67

Tabla 24*Resultados del ICARHS – estación AS5.*

ICARHS mín (S1, S2)	
Valor	Calificación
79,67	Regular

Tabla 25*Resultados de monitoreo de la estación AS6 – materia orgánica.*

Monitoreo ECA Cat, 1-A2	Materia orgánica					
	BDO ₅ 5	DQO 20	OD <5	CT 2 000	P 0,15	NH ₃ 1,5
Época seca						
Jun-17	0,5	(-)	7,54	2	(-)	(-)
Jun-18	1,3	(-)	8,18	2	(-)	(-)
Jun-19	1,3	(-)	6,16	0,9	(-)	(-)
Jun-20	1,3	(-)	7,5	4,5	(-)	(-)
Jun-21	1,3	(-)	5,87	0,9	(-)	(-)
Época húmeda						
Dic-17	1,1	(-)	7,58	2	(-)	(-)
Dic-18	1,3	(-)	7,34	0,9	(-)	(-)
Dic-19	1,3	(-)	7,12	4,5	(-)	(-)
Dic-20	1,3	(-)	7,59	7,8	(-)	(-)
Dic-21	1,3	(-)	6,67	2	(-)	(-)

Tabla 26*Resultados de monitoreo de la estación AS6 – fisicoquímico.*

Monitoreo		Fisicoquímico (metal)					
ECA Cat, 1- A2	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb
	5,5 - 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05
Época seca							
Jun-17	8,12	0,006	0,061	0,01625	0,0751	0,000005	0,0008
Jun-18	8,18	0,011	0,006	0,01353	0,0985	0,00165	0,0008
Jun-19	8,05	0,00449	0,119	0,05088	0,1594	0,00026	0,001
Jun-20	8,49	0,00588	0,091	0,01184	0,0856	0,000015	0,0003
Jun-21	7,66	0,01702	0,903	0,68187	0,9536	0,00137	0,0118
Época húmeda							
Dic-17	8,12	0,006	0,107	0,02385	0,1348	0,0003	0,0007
Dic-18	8,19	0,004	0,079	0,02094	0,0811	0,00029	0,001
Dic-19	8,14	0,004	1,552	0,06051	1,1837	0,000015	0,003
Dic-20	8,17	0,0059	2,03	0,08116	1,2572	0,000015	0,002
Dic-21	7,94	0,01263	0,378	0,68187	0,5189	0,00053	0,0124

Tabla 27*Análisis de datos F1 y F2 – estación AS6.*

Subíndice	N° de parámetros que No cumplen los ECA	N° total de parámetros a evaluar	N° de los datos que NO cumplen los ECA	N° total de datos evaluados
S1	0	3	0	30
S2	2	7	7	70

Tabla 28*Análisis de datos F3 – estación AS6.*

Subíndice	Excedente	N° total de datos	Suma Normalizada de Excedentes (SNE)
S1	0,000	30	0,000
S2	2,915	70	0,042

Tabla 29*Determinación de subíndices – estación AS6.*

Subíndice 1 (S1)				Subíndice 2 (S2)			
F1	F2	F3	Valor	F1	F2	F3	Valor
0,00	0,00	0,00	100,00	28,57	10,00	4,00	82,37

Tabla 30*Resultados del ICARHS – estación AS6.*

ICARHS mín (S1, S2)	
Valor	Calificación
82,37	Bueno

Tabla 31*Resultados de monitoreo de la estación AS8 – materia orgánica.*

Monitoreo		Materia orgánica				
ECA Cat, 1-A2	BDO ₅	DQO	OD	CT	P	NH ₃
	5	20	<5	2 000	0,15	1,5
Época seca						
Jun-17	0,5	(-)	7,38	0,9	(-)	(-)
Jun-18	1,3	(-)	7,52	6,8	(-)	(-)
Jun-19	1,3	(-)	6,38	4,5	(-)	(-)
Jun-20	1,3	(-)	7,69	0,9	(-)	(-)
Jun-21	1,3	(-)	8,12	0,9	(-)	(-)
Época húmeda						
Dic-17	0,5	(-)	7,62	0,9	(-)	(-)
Dic-18	1,3	(-)	7,77	0,9	(-)	(-)
Dic-19	1,3	(-)	7,36	2	(-)	(-)
Dic-20	1,3	(-)	7,23	4,5	(-)	(-)
Dic-21	1,3	(-)	5,95	0,9	(-)	(-)

Tabla 32*Resultados de monitoreo de la estación AS8 – fisicoquímico.*

Monitoreo		Fisicoquímico (metal)					
ECA Cat, 1-A2	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb
	5,5 - 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05
Época seca							
Jun-17	7,91	0,021	0,311	0,071	0,276	0,00036	0,0016
Jun-18	8,04	0,004	0,129	0,03257	0,1702	0,000015	0,0003
Jun-19	8,27	0,01747	0,203	0,04363	0,2477	0,000015	0,0007
Jun-20	8,54	0,01913	0,256	0,04573	0,2583	0,000015	0,0012
Jun-21	8,54	0,01382	0,186	0,05449	0,1742	0,00028	0,0019
Época húmeda							
Dic-17	7,91	0,014	0,133	0,02748	0,132	0,000005	0,0007
Dic-18	8,35	0,012	0,141	0,04218	0,1756	0,000015	0,0012
Dic-19	8,02	0,00395	1,19	0,07662	0,9766	0,000015	0,0043
Dic-20	8,18	0,01389	1,908	0,08493	1,3369	0,000015	0,0022
Dic-21	8,35	0,00761	0,09	0,05449	0,2031	0,000015	0,001

Tabla 33*Análisis de datos F1 y F2 – estación AS8.*

Subíndice	N° de parámetros que No cumplen los ECA	N° total de parámetros a evaluar	N° de los datos que NO cumplen los ECA	N° total de datos evaluados
S1	0	3	0	30
S2	2	7	8	70

Tabla 34*Análisis de datos F3 – estación AS8.*

Subíndice	Excedente	N° total de datos	Suma Normalizada de Excedentes (SNE)
S1	0,000	30	0,000

Subíndice	Excedente	N° total de datos	Suma Normalizada de Excedentes (SNE)
S2	0,448	70	0,010

Tabla 35

Determinación de subíndices – estación AS8.

Subíndice 1 (S1)				Subíndice 2 (S2)			
F1	F2	F3	Valor	F1	F2	F3	Valor
0,00	0,00	0,00	100,00	28,57	11,43	6,00	81,90

Tabla 36

Resultados del ICARHS – estación AS8.

ICARHS mín (S1, S2)	
Valor	Calificación
81,9	Bueno

Tabla 37

Resultados de monitoreo de la estación LCanc1 – materia orgánica.

Monitoreo	Materia orgánica					
ECA Cat, 1-A2	BDO ₅	DQO	OD	CT	P	NH ₃
	5	20	<5	2 000	0,15	1,5
Época seca						
Abr-18	0,001	1	6,804	0,9	0,005	(-)
Abr-19	1	(-)	(-)	0,9	0,005	(-)
May-16	1,5	(-)	7,34	0,9	0,0045	0,06
Nov-17	1	(-)	3,452	0,9	0,021	(-)
Oct-13	1	(-)	(-)	0,9	0,001	0,01
Oct-14	1	(-)	6,23	0,9	0,005	0,078
Set-15	1,5	(-)	(-)	0,9	(-)	0,01
Época húmeda						
Dic-13	1	(-)	(-)	0,9	(-)	0,129
Dic-19	1	(-)	6,47	0,9	0,005	(-)
Ene-12	3	4,5	6,5	0,9	0,033	0,018
Ene-13	3	4,5	6,94	0,9	(-)	0,062
Feb-14	1	(-)	5,9	0,9	0,005	0,01

Tabla 38

Resultados de monitoreo de la estación LCanc1 – fisicoquímico.

Monitoreo	Fisicoquímico (metal)						
ECA Cat, 1-A2	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb
	5,5 - 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05
Época seca							
Abr-18	5,554	0,00559	1,204	0,41553	3,167	0,00364	0,0141
Abr-19	(-)	0,00214	1,163	0,38042	5,096	0,00452	0,018
May-16	5,2	0,0035	1,358	0,689	3,043	0,0075	0,024
Nov-17	3,629	0,01173	3,952	0,934	5,034	0,00754	0,0758
Oct-13	3,34	0,0005	3,54	0,8856	0,469	0,01807	0,0332
Oct-14	4,95	0,009	2,93	0,9963	2,683	0,0143	0,0255

Monitoreo	Fisicoquímico (metal)						
ECA Cat, 1-A2	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb
	5,5 - 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05
Set-15	5,5	0,0035	4,758	1,148	1,22	0,007	0,027
Época húmeda							
Dic-13	5,74	0,0005	0,46	0,7394	3,11	0,0069	0,0603
Dic-19	6,72	0,0016	0,201	0,535	1,296	0,00276	0,0053
Ene-12	4,7	0,004	3,01	0,6071	0,775	0,0111	0,0193
Ene-13	5,93	0,0015	0,12	0,4977	0,449	0,0071	0,0005
Feb-14	4,47	0,0005	1,76	0,5941	0,589	0,0067	0,0232

Tabla 39

Análisis de datos F1 y F2 – estación LCanc1.

Subíndice	N° de parámetros que No cumplen los ECA	N° total de parámetros a evaluar	N° de los datos que NO cumplen los ECA	N° total de datos evaluados
S1	1	5	1	44
S2	6	7	37	83

Tabla 40

Análisis de datos F3 – estación LCanc1.

Subíndice	Excedente	N° total de datos	Suma Normalizada de Excedentes (SNE)
S1	4,673	44	0,093
S2	36,622	83	0,441

Tabla 41

Determinación de subíndices – estación LCanc1.

Subíndice 1 (S1)				Subíndice 2 (S2)			
F1	F2	F3	Valor	F1	F2	F3	Valor
20,00	2,27	1,01	88,36	85,71	44,58	30,61	41,48

Tabla 42

Resultados del ICARHS – estación LCanc1.

ICARHS mín (S1, S2)	
Valor	Calificación
41,48	Pésimo

Tabla 43

Resultados de monitoreo de la estación QLeon1 – materia orgánica.

Monitoreo	Materia orgánica					
ECA Cat, 1-A2	BDO ₅	DQO	OD	CT	P	NH ₃
	5	20	<5	2 000	0,15	1,5
Época seca						
Abr-18	(-)	1	6,284	2	0,005	(-)
Abr-19	1	23	(-)	9,3	0,005	0,1
Época húmeda						
Dic-13	1	5	(-)	0,9	0,005	0,046

Monitoreo	Materia orgánica					
ECA Cat, 1-A2	BDO ₅	DQO	OD	CT	P	NH ₃
	5	20	<5	2 000	0,15	1,5
Dic-19	1	8	6,26	0,9	0,069	0,129
Ene-12	3	4,5	6,4	0,9	0,006	0,005
Ene-13	3	4,5	6,83	0,9	0,005	0,005
Feb-14	1	5	5,6	7,8	0,005	0,01

Tabla 44

Resultados de monitoreo de la estación QLeon1 – fisicoquímico.

Monitoreo	Fisicoquímico (metal)						
ECA Cat, 1-A2	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb
	5,5 - 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05
Época seca							
Abr-18	7,019	0,00257	0,12	0,01199	0,0726	0,000005	0,0018
Abr-19	(-)	0,00206	0,06	0,00578	0,0187	0,000005	0,0001
Época húmeda							
Dic-13	5,97	0,0005	0,25	0,067	0,027	0,0002	0,0016
Dic-19	6,62	0,0006	0,174	0,0477	0,048	0,0002	0,0007
Ene-12	7,1	0,0015	0,29	0,027	0,025	0,0003	0,0005
Ene-13	6,9	0,0015	0,07	0,0144	0,015	0,0003	0,0005
Feb-14	6,82	0,001	0,08	0,0094	0,014	0,0002	0,0002

Tabla 45

Análisis de datos F1 y F2 – estación QLeon1.

Subíndice	N° de parámetros que No cumplen los ECA	N° total de parámetros a evaluar	N° de los datos que NO cumplen los ECA	N° total de datos evaluados
S1	1	5	1	32
S2	0	7	0	48

Tabla 46

Análisis de datos F3 – estación QLeon1.

Subíndice	Excedente	N° total de datos	Suma Normalizada de Excedentes (SNE)
S1	0,150	32	0,005
S2	0,000	48	0,000

Tabla 47

Determinación de subíndices – estación QLeon1.

Subíndice 1 (S1)				Subíndice 2 (S2)			
F1	F2	F3	Valor	F1	F2	F3	Valor
20,00	3,13	0,47	88,31	0,00	0,00	0,00	100,00

Tabla 48*Resultados del ICARHS – estación QLeon1.*

ICARHS mín (S ₁ , S ₂)	
Valor	Calificación
88,31	Bueno

Tabla 49*Resultados de monitoreo de la estación QColl1– materia orgánica.*

Monitoreo	Materia orgánica					
ECA Cat, 1-A2	BDO ₅	DQO	OD	CT	P	NH ₃
	5	20	<5	2 000	0,15	1,5
Época seca						
Abr-18	(-)	1	6,99	4,5	0,005	(-)
Abr-19	1	25	(-)	2	0,005	0,102
May-16	1,5	3	8,59	230	0,0045	0,06
Nov-17	1	38	4,452	0,9	0,018	0,003
Oct-13	1	5	(-)	0,9	0,005	0,01
Oct-14	1	5	8,08	4,5	0,005	0,037
Época húmeda						
Dic-13	1	5		33	0,66	0,021
Dic-19	1	6	7,8	4	0,08	0,146
Ene-13	3	4,5	7,65	2	0,005	0,005
Feb-14	1	5	7	170	0,017	0,01

Tabla 50*Resultados de monitoreo de la estación QColl1 – fisicoquímico.*

Monitoreo	Fisicoquímico (metal)						
ECA Cat, 1-A2	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb
	5,5 - 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05
Época seca							
Abr-18	7,122	0,0048	0,118	0,16033	0,1552	0,00085	0,0034
Abr-19	(-)	0,00437	0,069	0,12177	0,095	0,00056	0,0023
May-16	7,44	0,0035	0,0962	0,066	0,0996	0,00009	0,002
Nov-17	7,433	0,00564	0,344	0,02745	0,4304	0,000005	0,0032
Oct-13	7,65	0,002	0,16	0,1116	0,075	0,0002	0,0131
Oct-14	8,15	0,004	0,64	0,1158	0,571	0,0002	0,0079
Set-15	(-)	0,0035	0,224	0,087	0,249	0,0005	0,004
Época húmeda							
Dic-13	7,05	0,02	20,78	1,8517	18,746	0,0025	0,038
Dic-19	7,7	0,006	0,242	0,0647	0,299	0,00041	0,0092
Ene-13	7,64	0,005	0,35	0,2353	0,334	0,0008	0,0033
Feb-14	8,26	0,003	0,18	0,043	0,146	0,0002	0,003

Tabla 51*Análisis de datos F1 y F2 – estación QColl1.*

Subíndice	N° de parámetros que No cumplen los ECA	N° total de parámetros a evaluar	N° de los datos que NO cumplen los ECA	N° total de datos evaluados
S1	2	5	4	50
S2	4	7	4	75

Tabla 52*Análisis de datos F3 – estación QColl1.*

Subíndice	Excedente	N° total de datos	Suma Normalizada de Excedentes (SNE)
S1	4,468	50	0,064
S2	25,531	75	0,340

Tabla 53*Determinación de subíndices – estación QColl1.*

Subíndice 1 (S1)				Subíndice 2 (S2)			
F1	F2	F3	Valor	F1	F2	F3	Valor
40,00	8,00	8,55	75,94	57,14	5,33	25,40	63,76

Tabla 54*Resultados del ICARHS – estación QColl1.*

ICARHS mín (S1, S2)	
Valor	Calificación
63,76	Malo

Tabla 55*Resultados de monitoreo de la estación RSant1 – materia orgánica.*

Monitoreo	Materia orgánica					
ECA Cat, 1-A2	BDO ₅	DQO	OD	CT	P	NH ₃
	5	20	<5	2 000	0,15	1,5
Época seca						
Abr-18	(-)	1	7,07	17000	0,163	(-)
Abr-19	1	12	(-)	220	0,005	0,092
Abr-20	1	1	8,75	490	0,005	0,004
Jun-21	2	11	(-)	1100	0,025	(-)
May-16	3	6	8,43	790	0,054	0,06
Nov-17	1	38	7,076	1700	0,067	0,003
Oct-13	1	5	(-)	23000	0,15	0,023
Oct-14	1	5	11,8	2800	0,005	0,04
Época húmeda						
Dic-13	1	5	(-)	49000	0,08	0,01
Dic-19	1	11	8,64	7000	0,136	0,068
Ene-12	3	4,5	8,9	1700	0,066	0,014
Ene-13	3	4,5	9,44	230	0,005	0,005
Feb-14	1	5	7,41	4900	0,033	0,01

Tabla 56

Resultados de monitoreo de la estación RSant1 – fisicoquímico.

Monitoreo		Fisicoquímico (metal)					
ECA Cat, 1- A2	pH	As	Al	Mn	Fe	Cd	Pb
	5,5 - 9	0,01	5	0,4	1	0,005	0,05
Época seca							
Abr-18	8,245	0,01593	5,07	0,16513	5,499	0,000005	0,0135
Abr-19	(-)	0,01238	0,272	0,16144	0,2741	0,00291	0,0056
Abr-20	8,41	0,0122	0,123	0,0652	0,275	0,0019	0,0017
Jun-21	(-)	0,0155	0,258	0,1054	0,321	0,00184	0,0048
May-16	7,93	0,016	0,241	0,043	0,226	0,0016	0,006
Nov-17	8,199	0,00759	0,368	0,02267	0,3669	0,000005	0,002
Oct-13	7,45	0,016	2,49	0,1797	3,159	0,0002	0,0227
Oct-14	8,2	0,007	0,19	0,0349	0,177	0,0006	0,0049
Época húmeda							
Dic-13	7,16	0,009	1,35	0,2019	1,506	0,0002	0,0182
Dic-19	8,26	0,0231	1,857	0,1726	2,218	0,00203	0,025
Ene-12	8,1	0,019	1,92	0,1405	1,934	0,0016	0,0219
Ene-13	8,17	0,021	0,54	0,1171	0,699	0,002	0,0087
Feb-14	7,4	0,011	0,55	0,102	0,54	0,0015	0,0113

Tabla 57

Análisis de datos F1 y F2 – estación RSant1.

Subíndice	N° de parámetros que No cumplen los ECA	N° total de parámetros a evaluar	N° de los datos que NO cumplen los ECA	N° total de datos evaluados
S1	2	5	8	64
S2	3	7	18	95

Tabla 58

Análisis de datos F3 – estación RSant1.

Subíndice	Excedente	N° total de datos	Suma Normalizada de Excedentes (SNE)
S1	46,837	64	0,732
S2	18,258	95	0,192

Tabla 59

Determinación de subíndices – estación RSant1.

Subíndice 1 (S1)				Subíndice 2 (S2)			
F1	F2	F3	Valor	F1	F2	F3	Valor
40,00	12,50	42,26	65,64	42,86	18,95	16,12	71,39

Tabla 60

Resultados del ICARHS – estación RSant1.

ICARHS mín (S1, S2)	
Valor	Calificación
65,64	Regular

Anexo 5

Cálculo de los índices de contaminación

Tabla 1

Cálculo del HPI en la estación AS1.

Monitoreo ECA Cat, 1-A2	Metales (mg/L)						
	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	0,01	0,005	2	1	0,4	0,05	5
Época seca							
jun-17	<u>0,01600</u>	0,00034	0,02042	0,2667	0,05800	0,0023	0,0548
jun-18	<u>0,01300</u>	0,00003	0,00884	0,1830	0,03396	0,0006	0,0405
jun-19	<u>0,01898</u>	0,00003	0,01108	0,2318	0,04492	0,0008	0,0278
jun-20	<u>0,01530</u>	0,00003	0,00922	0,2939	0,04140	0,0040	0,0280
sep-20	<u>0,01474</u>	0,00053	0,01519	0,1617	0,04878	0,0020	0,0852
Época húmeda							
dic-17	<u>0,01300</u>	0,00001	0,00551	0,08430	0,01686	0,0004	0,0112
dic-18	<u>0,01200</u>	0,00003	0,00668	0,20240	0,04160	0,0008	0,0150
dic-19	0,00780	0,00003	0,02743	0,91840	0,05783	0,0058	0,0533
dic-20	<u>0,01120</u>	0,00003	0,00577	0,47110	0,05140	0,0006	0,0306
dic-21	<u>0,01678</u>	0,00003	0,00262	0,62820	0,04118	0,0019	0,0202

Tabla 2

Cálculo del HPI en la estación AS1.

Metal	Valor (mg/L) M _i	ECA (S _i)	MAC	W _i	Q _i	W _i ×Q _i
As	0,0140	0,01	0,01	100	139,79	13 979,09
Cd	0,0001	0,005	0,003	200	2,36	472,73
Cu	0,0113	2	2	0,5	0,57	0,28
Fe	0,3300	1	0,3	1	33,00	33,00
Mn	0,0442	0,4	0,4	2,5	11,05	27,62
Pb	0,0018	0,05	0,01	20	3,65	73,09
Zn	0,0363	5	3	0,2	0,73	0,15
∑ Sumatoria						
				324,2		14 585,95
HPI =						44,99

Tabla 3

Cálculo del HEI y Cd en la estación AS1.

Metal	HEI	Cd
As	1,40	0,40
Cd	0,02	-
Cu	0,01	-
Fe	0,33	0,10
Mn	0,11	-
Pb	0,04	-
Zn	0,01	-
Resultado	1,92	0,50

Tabla 4*Resultados de monitoreo de la estación AS2.*

Monitoreo	Metales (mg/L)						
ECA Cat, 1-A2	As 0,01	Cd 0,005	Cu 2	Fe 1	Mn 0,4	Pb 0,05	Zn 5
Época seca							
jun-17	<u>0,01800</u>	0,00038	0,01910	0,2501	0,05010	0,0024	0,0578
jun-18	<u>0,01300</u>	0,00003	0,00647	0,1287	0,02280	0,0006	0,0168
jun-19	<u>0,01548</u>	0,00003	0,00824	0,1909	0,02714	0,0006	0,0191
jun-20	<u>0,01703</u>	0,00003	0,00732	0,1508	0,02127	0,0006	0,0231
sep-20	<u>0,01230</u>	0,00036	0,01030	0,1014	0,02408	0,0014	0,0523
Época húmeda							
dic-17	<u>0,01200</u>	0,00001	0,00505	0,07160	0,01406	0,0005	0,0101
dic-18	<u>0,01200</u>	0,00003	0,00557	0,15250	0,02680	0,0011	0,0118
dic-19	<u>0,01006</u>	0,00003	0,02087	0,82990	0,05868	0,0046	0,0415
dic-20	<u>0,01299</u>	0,00003	0,00265	0,38400	0,04949	0,0006	0,0166
dic-21	<u>0,01444</u>	0,00003	0,00009	0,14557	0,02967	0,0009	0,0109

Tabla 5*Cálculo del HPI en la estación AS2.*

Metal	Valor (mg/L) M _i	ECA (S _i)	MAC	W _i	Q _i	W _i ×Q _i
As	0,0137	0,01	0,01	100	136,56	13 656,36
Cd	0,0001	0,005	0,003	200	2,15	429,09
Cu	0,0086	2	2	0,5	0,43	0,21
Fe	0,2307	1	0,3	1	23,07	23,07
Mn	0,0322	0,4	0,4	2,5	8,04	20,10
Pb	0,0013	0,05	0,01	20	2,62	52,36
Zn	0,0267	5	3	0,2	0,53	0,11
∑ Sumatoria				324,2		14 181,31
HPI =						43,74

Tabla 6*Cálculo del HEI y Cd en la estación AS2.*

Metal	HEI	Cd
As	1,37	0,37
Cd	0,02	-
Cu	0,00	-
Fe	0,23	-
Mn	0,08	-
Pb	0,03	-
Zn	0,01	-
Resultado	1,74	0,37

Tabla 7

Resultados de monitoreo de la estación AS4.

Monitoreo	Metales (mg/L)						
ECA Cat, 1-A2	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	0,01	0,005	2	1	0,4	0,05	5
Época seca							
jun-17	<u>0,01100</u>	0,00140	0,00105	0,9110	<u>0,94600</u>	0,0091	1,4010
jun-18	0,00800	0,00129	0,00166	0,6444	<u>0,74091</u>	0,0058	1,0087
jun-19	<u>0,01240</u>	0,00112	0,00315	0,8323	<u>0,91533</u>	0,0141	0,9810
jun-20	<u>0,01292</u>	0,00107	0,00287	0,7748	<u>0,72017</u>	0,0102	0,9956
sep-20	0,00384	0,00003	0,00195	0,0616	0,01283	0,0006	0,0250
Época húmeda							
dic-17	0,00500	0,00047	0,00133	0,25260	0,28429	0,0048	0,3498
dic-18	0,00300	0,00068	0,00009	0,17340	0,30698	0,0033	0,3991
dic-19	0,00291	0,00113	0,00383	0,26000	0,22816	0,0056	0,3911
dic-20	<u>0,01223</u>	0,00123	0,00255	<u>1,56810</u>	<u>0,40639</u>	0,0101	0,4406
dic-21	0,03830	0,00003	0,00009	0,06030	0,01215	0,0006	0,0051

Tabla 8

Cálculo del HPI en la estación AS4.

Metal	Valor (mg/L) M _i	ECA (S _i)	MAC	W _i	Q _i	W _i ×Q _i
As	0,0104	0,01	0,01	100	104,35	10 434,55
Cd	0,0008	0,005	0,003	200	15,42	3 083,64
Cu	0,0019	2	2	0,5	0,10	0,05
Fe	0,5081	1	0,3	1	50,81	50,81
Mn	0,4169	0,4	0,4	2,5	104,21	260,53
Pb	0,0059	0,05	0,01	20	11,78	235,64
Zn	0,5469	5	3	0,2	10,94	2,19
∑ Sumatoria				324,2		14 067,40
HPI =						43,39

Tabla 9

Cálculo del HEI y Cd en la estación AS4.

Metal	HEI	Cd
As	1,04	0,04
Cd	0,15	-
Cu	0,00	-
Fe	0,51	0,69
Mn	1,04	0,04
Pb	0,12	-
Zn	0,11	-
Resultado	2,97	0,77

Tabla 10

Resultados de monitoreo de la estación AS5.

Monitoreo	Metales (mg/L)						
ECA Cat, 1-A2	As 0,01	Cd 0,005	Cu 2	Fe 1	Mn 0,4	Pb 0,05	Zn 5
Época seca							
jun-17	<u>0,01200</u>	0,00155	0,00120	0,8895	<u>1,02449</u>	0,0069	1,4944
jun-18	0,00010	0,00003	0,00266	<u>1,0168</u>	<u>0,73193</u>	0,0115	1,0397
jun-19	<u>0,01210</u>	0,00106	0,00306	0,8790	<u>0,92394</u>	0,0163	0,9241
jun-20	<u>0,01040</u>	0,00096	0,00219	0,6533	<u>0,66829</u>	0,0072	0,9511
sep-20	<u>0,01072</u>	0,00080	0,00429	0,3910	0,38331	0,0220	0,5202
Época húmeda							
dic-17	0,00700	0,00047	0,00130	0,36980	0,30706	0,0064	0,3566
dic-18	0,00500	0,00071	0,00154	0,22630	0,30897	0,0050	0,4048
dic-19	0,00309	0,00098	0,00430	0,24910	0,23258	0,0045	0,3885
dic-20	0,00790	0,00120	0,00108	<u>1,20920</u>	<u>0,40407</u>	0,0076	0,4059
dic-21	0,00998	0,00054	0,00009	0,44040	<u>0,68751</u>	0,0095	0,5334

Tabla 11

Cálculo del HPI en la estación AS5.

Metal	Valor (mg/L) M _i	ECA (S _i)	MAC	W _i	Q _i	W _i ×Q _i
As	0,0083	0,01	0,01	100	83,35	8 334,55
Cd	0,0009	0,005	0,003	200	17,62	3 523,64
Cu	0,0022	2	2	0,5	0,11	0,06
Fe	0,6543	1	0,3	1	65,43	65,43
Mn	0,5782	0,4	0,4	2,5	144,54	361,34
Pb	0,0098	0,05	0,01	20	19,58	391,64
Zn	0,7137	5	3	0,2	14,27	2,85
∑ Sumatoria				324,2		12 679,50
HPI =						39,11

Tabla 12

Cálculo del HEI y Cd en la estación AS5.

Metal	HEI	Cd
As	0,83	-
Cd	0,18	-
Cu	0,00	-
Fe	0,65	1,18
Mn	1,45	0,45
Pb	0,20	-
Zn	0,14	-
Resultado	3,45	1,63

Tabla 13

Resultados de monitoreo de la estación AS6.

Monitoreo	Metales (mg/L)						
ECA Cat, 1-A2	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	0,01	0,005	2	1	0,4	0,05	5
Época seca							
jun-17	0,00600	0,00001	0,00003	0,0751	0,01625	0,0008	0,0326
jun-18	<u>0,01100</u>	0,00165	0,00144	0,0985	0,01353	0,0008	0,0167
jun-19	0,00449	0,00026	0,00481	0,1594	0,05088	0,0010	0,0640
jun-20	0,00588	0,00003	0,00196	0,0856	0,01184	0,0006	0,0189
sep-20	0,00882	0,00064	0,00338	0,2900	0,36941	0,0146	0,4958
Época húmeda							
dic-17	0,00600	0,00030	0,00307	0,13480	0,02385	0,0007	0,0697
dic-18	0,00400	0,00029	0,00311	0,08110	0,02094	0,0010	0,0353
dic-19	0,00400	0,00003	0,00302	<u>1,18370</u>	0,06051	0,0030	0,0178
dic-20	0,00590	0,00003	0,00009	<u>1,25720</u>	0,08116	0,0020	0,0301
dic-21	<u>0,01263</u>	0,00053	0,00155	0,51890	<u>0,68187</u>	0,0124	0,5360

Tabla 14

Cálculo del HPI en la estación AS6.

Metal	Valor (mg/L) M _i	ECA (S _i)	MAC	W _i	Q _i	W _i ×Q _i
As	0,0078	0,01	0,01	100	77,95	7 794,55
Cd	0,0005	0,005	0,003	200	9,35	1 869,09
Cu	0,0023	2	2	0,5	0,12	0,06
Fe	0,4398	1	0,3	1	43,98	43,98
Mn	0,1829	0,4	0,4	2,5	45,73	114,32
Pb	0,0044	0,05	0,01	20	8,85	177,09
Zn	0,1948	5	3	0,2	3,90	0,78
∑ Sumatoria						
				324,2		9 999,87
HPI =						30,84

Tabla 15

Cálculo del HEI y Cd en la estación AS6.

Metal	HEI	Cd
As	0,78	-
Cd	0,09	-
Cu	0,00	-
Fe	0,44	0,47
Mn	0,46	-
Pb	0,09	-
Zn	0,04	-
Resultado	1,90	0,47

Tabla 16

Resultados de monitoreo de la estación AS8.

Monitoreo	Metales (mg/L)						
ECA Cat, 1-A2	As 0,01	Cd 0,005	Cu 2	Fe 1	Mn 0,4	Pb 0,05	Zn 5
Época seca							
jun-17	0,02100	0,00036	0,02010	0,2760	0,07100	0,0016	0,0675
jun-18	0,00400	0,00003	0,00755	0,1702	0,03257	0,0006	0,0238
jun-19	<u>0,01747</u>	0,00003	0,00943	0,2477	0,04363	0,0007	0,0301
jun-20	<u>0,01913</u>	0,00003	0,00896	0,2583	0,04573	0,0012	0,0506
sep-20	0,00457	0,00003	0,00220	0,0857	0,04666	0,0014	0,0845
Época húmeda							
dic-17	<u>0,01400</u>	0,00001	0,00625	0,13200	0,02748	0,0007	0,0285
dic-18	<u>0,01200</u>	0,00003	0,00425	0,17560	0,04218	0,0012	0,0263
dic-19	0,00395	0,00003	0,01368	0,97660	0,07662	0,0043	0,0662
dic-20	<u>0,01389</u>	0,00003	0,00254	<u>1,33690</u>	0,08493	0,0022	0,0400
dic-21	0,00761	0,00003	0,00116	0,20310	0,05449	0,0010	0,0083

Tabla 17

Cálculo del HPI en la estación AS8.

Metal	Valor (mg/L) M _i	ECA (S _i)	MAC	W _i	Q _i	W _i ×Q _i
As	0,0119	0,01	0,01	100	119,49	11 949,09
Cd	0,0001	0,005	0,003	200	1,62	323,64
Cu	0,0077	2	2	0,5	0,39	0,19
Fe	0,3669	1	0,3	1	36,69	36,69
Mn	0,0527	0,4	0,4	2,5	13,18	32,94
Pb	0,0015	0,05	0,01	20	3,05	61,09
Zn	0,0445	5	3	0,2	0,89	0,18
∑ Sumatoria				324,2		12 403,82
HPI =						38,26

Tabla 18

Cálculo del HEI y Cd en la estación AS8.

Metal	HEI	Cd
As	1,19	0,19
Cd	0,02	-
Cu	0,00	-
Fe	0,37	0,22
Mn	0,13	-
Pb	0,03	-
Zn	0,01	-
Resultado	1,75	0,41

Tabla 19

Resultados de monitoreo de la estación LCanc1.

Monitoreo		Metales (mg/L)					
ECA Cat, 1-A2	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	0,01	0,005	2	1	0,4	0,05	5
Época seca							
oct-13	0,00100	<u>0,01807</u>	0,68600	0,4690	<u>0,88560</u>	0,0332	1,3850
oct-14	0,00900	<u>0,01430</u>	0,79260	<u>2,6830</u>	<u>0,99630</u>	0,0255	1,6590
sep-15	0,00700	<u>0,00700</u>	0,47900	<u>1,2200</u>	<u>1,14800</u>	0,0270	0,7990
may-16	0,00700	<u>0,00750</u>	0,30800	<u>3,0430</u>	<u>0,68900</u>	0,0240	0,9410
nov-17	<u>0,01173</u>	<u>0,00754</u>	0,41161	<u>5,0340</u>	<u>0,93400</u>	<u>0,0758</u>	1,0870
abr-18	0,00559	0,00364	0,23297	<u>3,1670</u>	<u>0,41553</u>	0,0141	0,6571
abr-19	0,00214	0,00452	0,35542	<u>5,0960</u>	0,38042	0,0180	0,8522
Época húmeda							
ene-12	0,00400	<u>0,01110</u>	0,51800	0,77500	<u>0,60710</u>	0,0193	0,9350
ene-13	0,00300	<u>0,00710</u>	0,10300	0,44900	<u>0,49770</u>	0,0010	0,5870
dic-13	0,00100	<u>0,00690</u>	0,23430	<u>3,11000</u>	<u>0,73940</u>	<u>0,0603</u>	0,7260
feb-14	0,00100	<u>0,00670</u>	0,31770	0,58900	<u>0,59410</u>	0,0232	0,7640
dic-19	0,00160	0,00276	0,05120	<u>1,29600</u>	<u>0,53500</u>	0,0053	0,5030

Tabla 20

Cálculo del HPI en la estación LCanc1.

Metal	Valor (mg/L) Mi	ECA (Si)	MAC	Wi	Qi	Wi x Qi
As	0,0045	0,01	0,01	100	45,05	4 505,00
Cd	0,0081	0,005	0,003	200	161,88	32 376,67
Cu	0,3742	2	2	0,5	18,71	9,35
Fe	2,2443	1	0,3	1	224,43	224,43
Mn	0,7018	0,4	0,4	2,5	175,46	438,65
Pb	0,0272	0,05	0,01	20	54,45	1 089,00
Zn	0,9079	5	3	0,2	18,16	3,63
∑ Sumatoria						
				324,2		38 646,73
HPI =						119,21

Tabla 21

Cálculo del HEI y Cd en la estación LCanc1.

Metal	HEI	Cd
As	0,45	-
Cd	1,62	1,70
Cu	0,19	-
Fe	2,24	6,48
Mn	1,75	0,75
Pb	0,54	1,72
Zn	0,18	-
Resultado	6,97	10,65

Tabla 22

Resultados de monitoreo de la estación QColl1.

Monitoreo		Metales (mg/L)					
ECA Cat, 1-A2	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	0,01	0,005	2	1	0,4	0,05	5
Época seca							
oct-13	0,00200	0,00040	0,00210	0,0750	0,11160	0,0131	0,1670
oct-14	0,00400	0,00040	0,00210	0,5710	0,11580	0,0079	0,1950
sep-15	0,00700	0,00100	0,00200	0,2490	0,08700	0,0040	0,1290
may-16	0,00700	0,00018	0,00900	0,0996	0,06600	0,0020	0,1540
nov-17	0,00564	0,00001	0,00341	0,4304	0,02745	0,0032	0,0524
abr-18	0,00480	0,00085	0,00134	0,1552	0,16033	0,0034	0,2974
abr-19	0,00437	0,00056	0,00090	0,0950	0,12177	0,0023	0,1739
Época húmeda							
ene-13	0,00500	0,00080	0,00300	0,33400	0,23530	0,0033	0,3250
dic-13	<u>0,02000</u>	0,00250	0,01950	<u>18,74600</u>	<u>1,85170</u>	0,0380	0,3780
feb-14	0,00300	0,00040	0,00100	0,14600	0,04300	0,0030	0,0780
dic-19	0,00600	0,00041	0,00220	0,29900	0,06470	0,0092	0,4100

Tabla 23

Cálculo del HPI en la estación QColl1.

Metal	Valor (mg/L) M _i	ECA (S _i)	MAC	W _i	Q _i	W _i ×Q _i
As	0,0063	0,01	0,01	100	62,55	6 255,45
Cd	0,0007	0,005	0,003	200	13,65	2 730,91
Cu	0,0042	2	2	0,5	0,21	0,11
Fe	1,9273	1	0,3	1	192,73	192,73
Mn	0,2622	0,4	0,4	2,5	65,56	163,90
Pb	0,0081	0,05	0,01	20	16,25	325,09
Zn	0,2145	5	3	0,2	4,29	0,86
∑ Sumatoria				324,2		9 669,05
HPI =					29,82	

Tabla 24

Cálculo del HEI y Cd en la estación QColl1.

Metal	HEI	Cd
As	0,63	-
Cd	0,14	-
Cu	0,00	-
Fe	1,93	5,42
Mn	0,66	-
Pb	0,16	-
Zn	0,04	-
Resultado	3,56	5,42

Tabla 25*Resultados de monitoreo de la estación QLeon1.*

Monitoreo	Metales (mg/L)						
ECA Cat, 1-A2	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	0,01	0,005	2	1	0,4	0,05	5
Época seca							
abr-18	0,00257	0,00001	0,00217	0,0726	0,01199	0,0018	0,0147
abr-19	0,00206	0,00001	0,00064	0,0187	0,00578	0,0002	0,0100
Época húmeda							
ene-12	0,00300	0,00060	0,00300	0,02500	0,02700	0,0010	0,0030
ene-13	0,00300	0,00060	0,00300	0,01500	0,01440	0,0010	0,0080
dic-13	0,00100	0,00040	0,00110	0,02700	0,06700	0,0016	0,0070
feb-14	0,00100	0,00040	0,00110	0,01400	0,00940	0,0004	0,0120
dic-19	0,00060	0,00020	0,00100	0,04800	0,04770	0,0007	0,0130

Tabla 26*Cálculo del HPI en la estación QLeon1.*

Metal	Valor (mg/L) M _i	ECA (S _i)	MAC	W _i	Q _i	W _i ×Q _i
As	0,0019	0,01	0,01	100	18,90	1 890,00
Cd	0,0003	0,005	0,003	200	6,34	1 268,57
Cu	0,0017	2	2	0,5	0,09	0,04
Fe	0,0315	1	0,3	1	3,15	3,15
Mn	0,0262	0,4	0,4	2,5	6,55	16,36
Pb	0,0010	0,05	0,01	20	1,91	38,29
Zn	0,0097	5	3	0,2	0,19	0,04
∑ Sumatoria				324,2		3 216,45
HPI =						9,92

Tabla 27*Cálculo del HEI y Cd en la estación QLeon1.*

Metal	HEI	Cd
As	0,19	-
Cd	0,06	-
Cu	0,00	-
Fe	0,03	-
Mn	0,07	-
Pb	0,02	-
Zn	0,00	-
Resultado	0,37	0,00

Tabla 28

Resultados de monitoreo de la estación RSeul1.

Monitoreo	Metales (mg/L)						
ECA Cat, 1-A2	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	0,01	0,005	2	1	0,4	0,05	5
Época seca							
oct-13	<u>0,01600</u>	0,00040	0,02210	<u>3,1590</u>	0,17970	0,0227	0,1330
oct-14	0,00700	0,00060	0,01360	0,1770	0,03490	0,0049	0,2010
sep-15	<u>0,03600</u>	0,00200	0,04800	<u>1,1170</u>	0,34700	0,0480	0,4880
may-16	<u>0,01600</u>	0,00160	0,02000	0,2260	0,04300	0,0060	0,2580
nov-17	0,00759	0,00001	0,00476	0,3669	0,02267	0,0020	0,0100
abr-18	<u>0,01593</u>	0,00001	0,03064	<u>5,4990</u>	0,16513	0,0135	0,0954
abr-19	<u>0,01238</u>	0,00291	0,03159	0,2741	0,16144	0,0056	0,4725
abr-20	<u>0,01220</u>	0,00190	0,01530	0,2750	0,06520	0,0017	0,3040
jun-21	<u>0,01550</u>	0,00184	0,01730	0,3210	0,10540	0,0048	0,4000
Época húmeda							
ene-12	<u>0,01900</u>	0,00160	0,03400	1,93400	0,14050	0,0219	0,2880
ene-13	<u>0,02100</u>	0,00200	0,03400	0,69900	0,11710	0,0087	0,3440
dic-13	0,00900	0,00040	0,02210	1,50600	0,20190	0,0182	0,2590
feb-14	<u>0,01100</u>	0,00150	0,03210	0,54000	0,10200	0,0113	0,3390
dic-19	<u>0,02310</u>	0,00203	0,04810	2,21800	0,17260	0,0250	0,4030

Tabla 29

Cálculo del HPI en la estación RSeul1.

Metal	Valor (mg/L) M _i	ECA (S _i)	MAC	W _i	Q _i	W _i ×Q _i
As	0,0158	0,01	0,01	100	158,36	15 835,71
Cd	0,0013	0,005	0,003	200	26,86	5 371,43
Cu	0,0267	2	2	0,5	1,33	0,67
Fe	1,3080	1	0,3	1	130,80	130,80
Mn	0,1328	0,4	0,4	2,5	33,19	82,97
Pb	0,0139	0,05	0,01	20	27,76	555,14
Zn	0,2854	5	3	0,2	5,71	1,14
∑ Sumatoria						
				324,2		21 977,86
HPI =						67,79

Tabla 30

Cálculo del HEI y Cd en la estación RSeul1.

Metal	HEI	Cd
As	1,58	0,58
Cd	0,27	-
Cu	0,01	-
Fe	1,31	3,36
Mn	0,33	-
Pb	0,28	0,39
Zn	0,06	-
Resultado	3,84	4,33

Anexo 6

Fichas de campo para evaluación de estado del bofedal Milloc

FICHA DE TRABAJO DE CAMPO PARA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS DE BOFEDAL															
DATOS DESCRIPTIVOS DE LA PARCELA DE MUESTREO															
ID BOFEDAL: Milloc															
Comunidad: Carampoma				Distrito: Carampoma				Provincia: Huarochiri				Departamento: Lima			
Responsables: Victor Hugo Retis Landauro										Fecha: 13/01/2024					
Coordenadas en "X": 352 523 m						Coordenadas en "Y": 8 720 353 m						Altitud: 4 342 ms.n.m.			
MEDICIONES DE INDICADORES															
Comunidad vegetal dominante (s): <i>Distichia muscoides</i>															
Prof. Turba (cm): 100				pH: -				DA (g/cm ³): 0,09							
Nivel de napa (cm): 21				CE: 263 µS/cm				Biomasa (Kg MS/ha): 187,45							
Cobertura vegetal (%): 12,5 m: 60%				25 m: 40%				37,5 m: 40%				MO (%): 59,44			
Signos de erosión: D						Factores de degradación: C						Conectividad hidrológica: B			
N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones
1	0,5	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	26	13	-	Agua	51	25,5	-	Materia orgánica	76	38	<i>Phylloscirus sp.</i>	-
2	1	-	Suelo	27	13,5	-	Agua	52	26	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Custreacasasiella isemii</i>	-	77	38,5	<i>Phylloscirus sp.</i>	-
3	1,5	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	28	14	<i>Distichia muscoides</i>	-	53	26,5	-	Suelo	78	39	<i>Distichia muscoides</i>	-
4	2	-	Suelo	29	14,5	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	54	27	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	79	39,5	-	Suelo
5	2,5	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	30	15	<i>Distichia muscoides</i>	-	55	27,5	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	80	40	<i>Gentiana sp.</i> , <i>Distichia muscoides</i>	-
6	3	-	Suelo	31	15,5	-	Suelo	56	28	<i>Distichia muscoides</i>	-	81	40,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
7	3,5	-	Suelo	32	16	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	57	28,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	82	41	<i>Distichia muscoides</i>	-
8	4	<i>Distichia muscoides</i>	-	33	16,5	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	58	29	-	Agua	83	41,5	-	Agua
9	4,5	-	Suelo	34	17	<i>Distichia muscoides</i>	-	59	29,5	-	Agua	84	42	-	Agua
10	5	-	Suelo	35	17,5	<i>Cinnagrostis vicunarium</i>	-	60	30	-	Suelo	85	42,5	-	Agua
11	5,5	-	Materia orgánica	36	18	-	Materia orgánica	61	30,5	-	Suelo	86	43	-	Agua
12	6	-	Suelo	37	18,5	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	62	31	-	Suelo	87	43,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
13	6,5	-	Suelo	38	19	<i>Distichia muscoides</i>	-	63	31,5	-	Suelo	88	44	<i>Distichia muscoides</i>	-
14	7	-	Suelo	39	19,5	-	Materia orgánica	64	32	-	Suelo	89	44,5	-	Agua
15	7,5	-	Suelo	40	20	-	Materia orgánica	65	32,5	<i>Agrostis breviculmis</i>	-	90	45	<i>Phylloscirus sp.</i>	-
16	8	-	Suelo	41	20,5	-	Materia orgánica	66	33	<i>Phylloscirus sp.</i>	Suelo, musgo	91	45,5	-	Agua
17	8,5	-	Suelo	42	21	<i>Plantago tubulosa</i>	-	67	33,5	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	92	46	<i>Distichia muscoides</i>	-
18	9	<i>Distichia muscoides</i>	-	43	21,5	-	Materia orgánica	68	34	-	Materia orgánica	93	46,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
19	9,5	-	Agua	44	22	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	69	34,5	<i>Belloa kunthiana</i>	-	94	47	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Belloa kunthiana</i>	-
20	10	-	Agua	45	22,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	70	35	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Agrostis breviculmis</i>	-	95	47,5	<i>Plantago tubulosa</i>	-
21	10,5	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	46	23	<i>Distichia muscoides</i>	-	71	35,5	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	96	48	<i>Distichia muscoides</i>	-
22	11	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	47	23,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	72	36	<i>Distichia muscoides</i>	-	97	48,5	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Phylloscirus sp.</i>	Agua, suelo
23	11,5	-	Suelo	48	24	<i>Distichia muscoides</i>	-	73	36,5	-	Suelo	98	49	<i>Distichia muscoides</i>	-
24	12	<i>Distichia muscoides</i>	-	49	24,5	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Calamagrostis rigescens</i>	-	74	37	<i>Phylloscirus sp.</i>	-	99	49,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
25	12,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	50	25	<i>Plantago tubulosa</i>	-	75	37,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	100	50	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Plantago tubulosa</i>	-

FICHA DE TRABAJO DE CAMPO PARA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS DE BOFEDAL															
DATOS DESCRIPTIVOS DE LA PARCELA DE MUESTREO															
ID BOFEDAL: Milloc															
Comunidad: Carampoma				Distrito: Carampoma				Provincia: Huarochiri				Departamento: Lima			
Responsables: Victor Hugo Retis Landauru										Fecha: 13/01/2024					
Coordenadas en "X": 352 475 m						Coordenadas en "Y": 8 720 241 m						Altitud: 4 339 ms.n.m.			
MEDICIONES DE INDICADORES															
Comunidad vegetal dominante (s): <i>Distichia muscoides</i>															
Prof. Turba (cm): 106				pH: -				DA (g/cm ³): 0,14							
Nivel de napa (cm): 18				CE: 215 µS/cm				Biomasa (Kg MS/ha): 190,06							
Cobertura vegetal (%): 12,5 m: 60%				25 m: 60%				37,5 m: 75%				MO (%): 0,17			
Signos de erosión: C						Factores de degradación: C						Conectividad hidrológica: B			
N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones
1	0,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	26	13	-	Agua	51	25,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	76	38	<i>Distichia muscoides</i>	-
2	1	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Plantago tubulosa</i>	-	27	13,5	<i>Agrostis</i> sp.	-	52	26	-	Agua	77	38,5	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Werneria pygmaea</i>	-
3	1,5	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Plantago tubulosa</i>	-	28	14	<i>Distichia muscoides</i>	-	53	26,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	78	39	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Plantago tubulosa</i> , <i>Neobartsia pedicularoides</i>	-
4	2	<i>Distichia muscoides</i>	-	29	14,5	<i>Agrostis</i> sp.	-	54	27	-	Agua	79	39,5	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Plantago tubulosa</i>	-
5	2,5	<i>Plantago tubulosa</i>	-	30	15	<i>Distichia muscoides</i>	-	55	27,5	-	Agua	80	40	<i>Distichia muscoides</i>	-
6	3	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Plantago tubulosa</i>	-	31	15,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	56	28	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Plantago tubulosa</i>	-	81	40,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
7	3,5	-	Agua	32	16	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	57	28,5	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Plantago tubulosa</i>	Suelo	82	41	<i>Distichia muscoides</i>	-
8	4	<i>Plantago tubulosa</i>	-	33	16,5	<i>Plantago tubulosa</i>	-	58	29	<i>Distichia muscoides</i>	Suelo	83	41,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
9	4,5	<i>Plantago tubulosa</i>	-	34	17	-	Suelo	59	29,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	84	42	-	Suelo
10	5	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	35	17,5	-	Suelo	60	30	<i>Distichia muscoides</i>	-	85	42,5	-	Suelo
11	5,5	<i>Plantago tubulosa</i>	-	36	18	-	Suelo	61	30,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	86	43	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Plantago tubulosa</i>	-
12	6	-	Agua	37	18,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	62	31	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Plantago tubulosa</i>	Musgo	87	43,5	-	Musgo
13	6,5	-	Agua	38	19	<i>Plantago tubulosa</i>	-	63	31,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	88	44	-	Agua
14	7	<i>Distichia muscoides</i>	-	39	19,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	64	32	<i>Distichia muscoides</i>	-	89	44,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
15	7,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	40	20	<i>Distichia muscoides</i>	-	65	32,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	90	45	-	Agua
16	8	<i>Distichia muscoides</i>	-	41	20,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	66	33	<i>Lilaeopsis macloviana</i>	Agua	91	45,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
17	8,5	<i>Agrostis</i> sp.	-	42	21	<i>Distichia muscoides</i>	-	67	33,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	92	46	-	Agua
18	9	<i>Agrostis</i> sp.	-	43	21,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	68	34	<i>Distichia muscoides</i>	-	93	46,5	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Calamagrostis rigescens</i>	-
19	9,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	44	22	<i>Cinnagrostis rigida</i>	-	69	34,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	94	47	-	Suelo
20	10	<i>Agrostis</i> sp.	-	45	22,5	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Plantago tubulosa</i>	-	70	35	<i>Distichia muscoides</i>	-	95	47,5	<i>Aciclyne pulvinata</i>	-
21	10,5	<i>Agrostis</i> sp.	-	46	23	<i>Distichia muscoides</i>	-	71	35,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	96	48	<i>Distichia muscoides</i>	-
22	11	<i>Agrostis</i> sp.	-	47	23,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	72	36	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Lilaeopsis macloviana</i>	-	97	48,5	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Plantago tubulosa</i> , <i>Cinnagrostis spicigera</i>	-
23	11,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	48	24	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	73	36,5	-	Agua	98	49	<i>Plantago tubulosa</i> , <i>Distichia muscoides</i>	-
24	12	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	49	24,5	-	Suelo	74	37	<i>Distichia muscoides</i>	-	99	49,5	-	Materia orgánica
25	12,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	50	25	<i>Plantago tubulosa</i>	-	75	37,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	100	50	<i>Distichia muscoides</i> , <i>Luzula racemosa</i>	-

FICHA DE TRABAJO DE CAMPO PARA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS DE BOFEDAL

DATOS DESCRIPTIVOS DE LA PARCELA DE MUESTREO

ID BOFEDAL: Milloc			
Comunidad: Carampoma	Distrito: Carampoma	Provincia: Huarochiri	Departamento: Lima
Responsables: Victor Hugo Retis Landauro			Fecha: 14/01/2024
Coordenadas en "X": 351 917 m		Coordenadas en "Y": 8 719 537 m	Altitud: 4 337 ms.n.m.

MEDICIONES DE INDICADORES

Comunidad vegetal dominante (s): <i>Distichia muscoides</i>			
Prof. Turba (cm): 30	pH: -	DA (g/cm3): 0,17	
Nivel de napa (cm): 12	CE: 135,6 µS/cm	Biomasa (Kg MS/ha): 974,02	
Cobertura vegetal (%): 12,5 m: 80%		37,5 m: 70%	
Signos de erosión: B		MO (%): 74,1	

Factores de degradación: A

Conectividad hidrológica: A

N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones
1	0,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	26	13	<i>Distichia muscoides</i>	-	51	25,5	<i>Calamagrostis rigescens</i>	-	76	38	<i>Distichia muscoides</i>	-
2	1	<i>Cinnagrostis vicunarum</i>	-	27	13,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	52	26	<i>Cinnagrostis vicunarum</i>	-	77	38,5	-	Agua
3	1,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	28	14	<i>Distichia muscoides</i>	-	53	26,5	<i>Cinnagrostis vicunarum</i>	-	78	39	-	Agua
4	2	<i>Distichia muscoides</i>	-	29	14,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	54	27	<i>Distichia muscoides</i>	-	79	39,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
5	2,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	30	15	-	Suelo	55	27,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	80	40	-	Materia orgánica
6	3	<i>Distichia muscoides</i>	-	31	15,5	-	Agua	56	28	<i>Calamagrostis chrysantha</i>	-	81	40,5	-	Materia orgánica
7	3,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	32	16	<i>Distichia muscoides</i>	-	57	28,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	82	41	<i>Distichia muscoides</i>	-
8	4	<i>Distichia muscoides</i>	-	33	16,5	<i>Calamagrostis rigescens</i>	-	58	29	<i>Distichia muscoides</i>	-	83	41,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
9	4,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	34	17	<i>Calamagrostis rigescens</i>	-	59	29,5	-	Materia orgánica	84	42	<i>Distichia muscoides</i>	-
10	5	<i>Distichia muscoides</i>	-	35	17,5	<i>Cotula mexicana</i>	-	60	30	<i>Acicahne pulvinata</i>	-	85	42,5	-	Materia orgánica
11	5,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	36	18	<i>Distichia muscoides</i>	-	61	30,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	86	43	<i>Distichia muscoides</i>	-
12	6	<i>Cinnagrostis vicunarum</i>	-	37	18,5	-	Agua	62	31	<i>Distichia muscoides</i>	-	87	43,5	-	Materia orgánica
13	6,5	<i>Cinnagrostis vicunarum</i>	-	38	19	<i>Distichia muscoides</i>	-	63	31,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	88	44	<i>Distichia muscoides</i>	-
14	7	<i>Distichia muscoides</i>	-	39	19,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	64	32	<i>Distichia muscoides</i>	-	89	44,5	<i>Cinnagrostis rigida</i>	-
15	7,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	40	20	<i>Distichia muscoides</i>	-	65	32,5	<i>Acicahne pulvinata</i>	-	90	45	<i>Distichia muscoides</i>	-
16	8	-	Suelo	41	20,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	66	33	-	Materia orgánica	91	45,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
17	8,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	42	21	<i>Distichia muscoides</i>	-	67	33,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	92	46	<i>Distichia muscoides</i>	-
18	9	<i>Distichia muscoides</i>	-	43	21,5	-	Materia orgánica	68	34	-	Agua	93	46,5	<i>Acicahne pulvinata</i>	-
19	9,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	44	22	<i>Distichia muscoides</i>	-	69	34,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	94	47	<i>Acicahne pulvinata</i>	-
20	10	<i>Distichia muscoides</i>	-	45	22,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	70	35	<i>Distichia muscoides</i>	-	95	47,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
21	10,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	46	23	<i>Calamagrostis rigescens</i>	-	71	35,5	<i>Distichia muscoides</i>	Agua	96	48	-	Agua
22	11	<i>Distichia muscoides</i>	Materia orgánica	47	23,5	-	Musgo	72	36	-	Agua	97	48,5	<i>Acicahne pulvinata</i>	-
23	11,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	48	24	<i>Distichia muscoides</i>	-	73	36,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	98	49	<i>Distichia muscoides</i>	-
24	12	<i>Calamagrostis rigescens</i>	-	49	24,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	74	37	<i>Distichia muscoides</i>	-	99	49,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
25	12,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	50	25	<i>Calamagrostis rigescens</i>	-	75	37,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	100	50	<i>Acicahne pulvinata</i>	-

FICHA DE TRABAJO DE CAMPO PARA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS DE BOFEDAL															
DATOS DESCRIPTIVOS DE LA PARCELA DE MUESTREO															
ID BOFEDAL: Milloc															
Comunidad: Carampoma				Distrito: Carampoma				Provincia: Huarochiri				Departamento: Lima			
Responsables: Victor Hugo Retis Landauro												Fecha: 14/01/2024			
Coordenadas en "X": 352 136 m						Coordenadas en "Y": 8 719 618 m						Altitud: 4 340 ms.n.m.			
MEDICIONES DE INDICADORES															
Comunidad vegetal dominante (s): <i>Cinnagrostis spicigera</i>															
Prof. Turba (cm): 58				pH: -				DA (g/cm ³): 0,12							
Nivel de napa (cm): 6				CE: 140 µS/cm				Biomasa (Kg MS/ha): 7 493,45							
Cobertura vegetal (%): 12,5 m: 80%				25 m: 75%				37,5 m: 90%				MO (%): 61,88			
Signos de erosión: B				Factores de degradación: A								Conectividad hidrológica: A			
N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	N°	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones
1	0,5	<i>Senecio expansus</i>	-	26	13	-	Materia orgánica	51	25,5	-	Suelo	76	38	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-
2	1	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	27	13,5	-	Materia orgánica	52	26	-	Suelo	77	38,5	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-
3	1,5	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	28	14	-	Materia orgánica	53	26,5	-	Suelo	78	39	<i>Distichia muscoides</i>	-
4	2	<i>Cinnagrostis spicigera</i> , <i>Senecio expansus</i>	-	29	14,5	-	Materia orgánica	54	27	<i>Distichia muscoides</i>	-	79	39,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
5	2,5	-	Materia orgánica	30	15	-	Materia orgánica	55	27,5	-	Suelo	80	40	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-
6	3	-	Materia orgánica	31	15,5	-	Materia orgánica	56	28	<i>Distichia muscoides</i>	-	81	40,5	<i>Distichia muscoides</i>	-
7	3,5	-	Materia orgánica	32	16	-	Materia orgánica	57	28,5	-	Suelo	82	41	<i>Distichia muscoides</i>	-
8	4	-	Agua	33	16,5	-	Materia orgánica	58	29	-	Suelo	83	41,5	<i>Plantago tubulosa</i>	-
9	4,5	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	34	17	-	Materia orgánica	59	29,5	<i>Distichia muscoides</i>	-	84	42	<i>Lilaeopsis macloviana</i>	-
10	5	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	35	17,5	<i>Hypochaeris taraxacoides</i>	-	60	30	<i>Senecio expansus</i>	-	85	42,5	-	Agua
11	5,5	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	36	18	-	Materia orgánica	61	30,5	<i>Senecio expansus</i>	-	86	43	-	Agua
12	6	-	Suelo	37	18,5	-	Materia orgánica	62	31	-	Materia orgánica	87	43,5	-	Agua
13	6,5	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	38	19	-	Suelo	63	31,5	<i>Custreacasasiella isemii</i>	-	88	44	-	Agua
14	7	-	Suelo	39	19,5	-	Materia orgánica	64	32	<i>Custreacasasiella isemii</i>	-	89	44,5	<i>Juncus stpuletus</i>	-
15	7,5	-	Suelo	40	20	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	65	32,5	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	90	45	<i>Juncus stpuletus</i>	-
16	8	<i>Senecio expansus</i>	-	41	20,5	-	Agua	66	33	-	Musgo	91	45,5	<i>Juncus stpuletus</i>	-
17	8,5	<i>Senecio expansus</i>	-	42	21	-	Agua	67	33,5	-	Musgo	92	46	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-
18	9	-	Materia orgánica	43	21,5	-	Agua	68	34	<i>Plantago tubulosa</i>	-	93	46,5	<i>Plantago tubulosa</i>	-
19	9,5	-	Materia orgánica	44	22	-	Agua	69	34,5	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	94	47	<i>Acicahne pulvinata</i>	-
20	10	<i>Senecio expansus</i>	-	45	22,5	-	Agua	70	35	<i>Custreacasasiella isemii</i>	-	95	47,5	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-
21	10,5	-	Materia orgánica	46	23	-	Agua	71	35,5	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	-	96	48	<i>Plantago tubulosa</i>	-
22	11	-	Materia orgánica	47	23,5	-	Agua	72	36	<i>Cinnagrostis rigida</i>	-	97	48,5	<i>Plantago tubulosa</i>	-
23	11,5	-	Materia orgánica	48	24	-	Agua	73	36,5	<i>Acicahne pulvinata</i>	-	98	49	<i>Plantago tubulosa</i>	-
24	12	-	Materia orgánica	49	24,5	<i>Lilaeopsis macloviana</i>	-	74	37	<i>Acicahne pulvinata</i>	-	99	49,5	<i>Plantago tubulosa</i>	-
25	12,5	-	Materia orgánica	50	25	-	Materia orgánica	75	37,5	-	Suelo	100	50	<i>Cinnagrostis rigida</i>	-

Anexo 7

Panel fotográfico de la evaluación del bofedal Milloc

Fotografía 1

Vista panorámica del bofedal Milloc.



Fotografía 2

Delimitación de transecto.



Fotografía 3

Uso del barreno en la UM-01 para medición de indicadores de condición de agua y suelo.



Fotografía 4

Identificación de la riqueza de especies.



Fotografía 5

Recolección de cobertura vegetal para medición de biomasa aérea.



Fotografía 6

Evaluación de cobertura vegetal en cuadrantes.



Anexo 8

Informes de análisis especial en suelo y foliar



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : VICTOR HUGO RETIS LANDAURO
PROCEDENCIA : LIMA/ HUAROCHIRI/ CARAMPOMA
REFERENCIA : H.R. 81778
BOLETA : 6314
FECHA : 26/01/2024

Lab	Número Muestra Claves	M.O. %
056	BOF- MI, UM 1	59.44
057	BOF- MI, UM 2	71.92
058	BOF- MI, UM 3	74.10
059	BOF- MI, UM 4	61.88



Lily Tello Peramás
Jefa del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

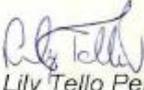


INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : VICTOR HUGO LANDAURO
PROCEDENCIA : LIMA/ HUAROCHIRI/ CARAMPOMA
REFERENCIA : H.R. 81779
BOLETA : 6314
FECHA : 24/01/2024

Lab	Número Muestra		D.A. g/cc
	Claves		
060	BOF MI UM1		0.09
061	BOF MI UM2		0.14
062	BOF MI UM3		0.17
063	BOF MI UM4		0.12




Dña. Lily Tello Peramás
Jefa del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : VICTOR HUGO RETIS LANDAURO
PROCEDENCIA : LIMA/ HUAROCHIRI/ CARAMPOMA
MUESTRA : BIOMASA AEREA
REFERENCIA : H.R. 81780
BOLETA : 6314
FECHA : 24/01/2024

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Peso fresco g	Peso seco g
369	BOF MI UM1	774.40	97.36
370	BOF MI UM2	620.00	98.30
371	BOF MI UM3	1353.32	196.80
372	BOF MI UM4	2187.74	318.40




Lily Tello Peramás
Jefa de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222
Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 9

Listado de especies de flora identificadas

Tabla 1

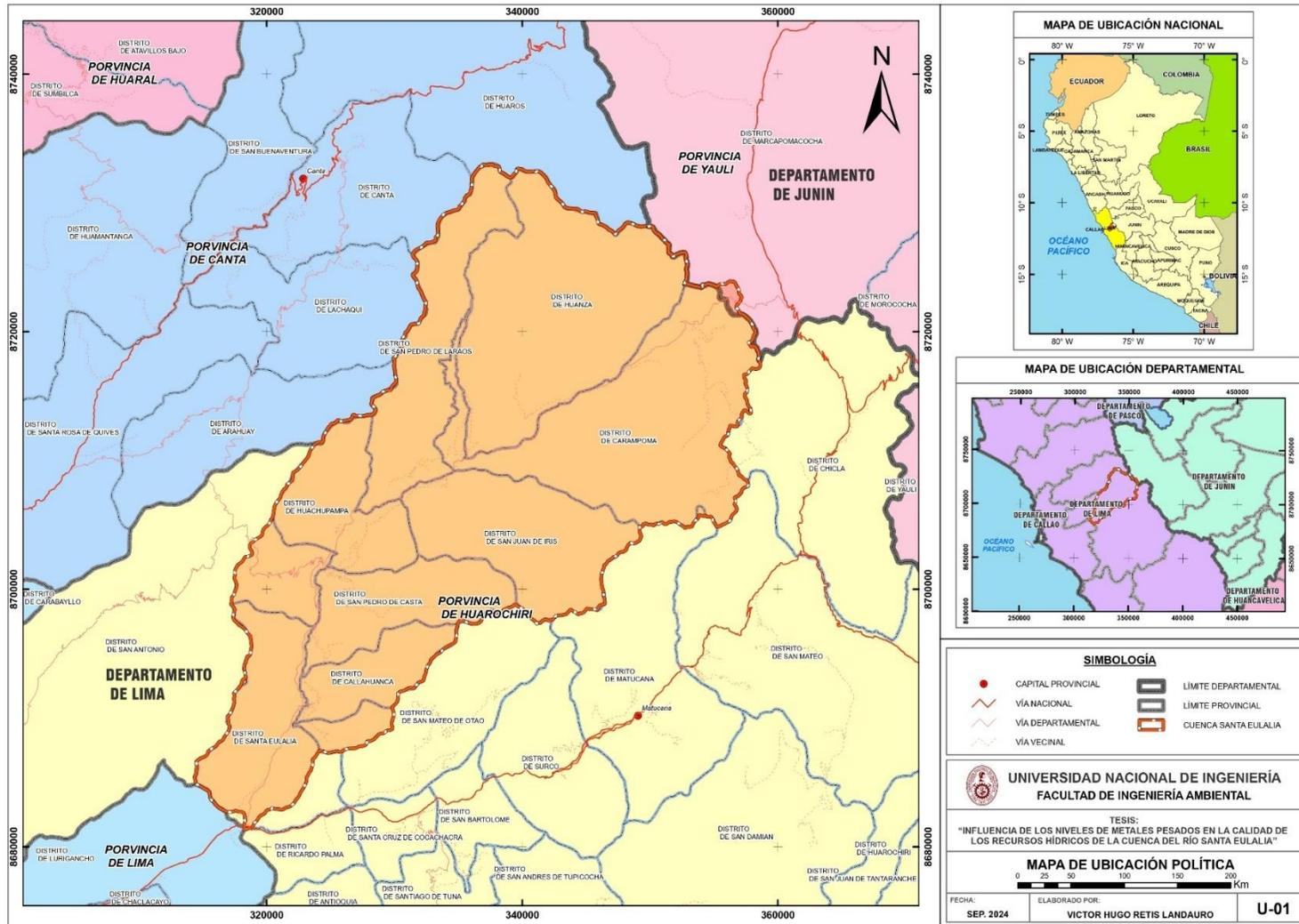
Listado de especies identificadas en el Bofedal Milloc.

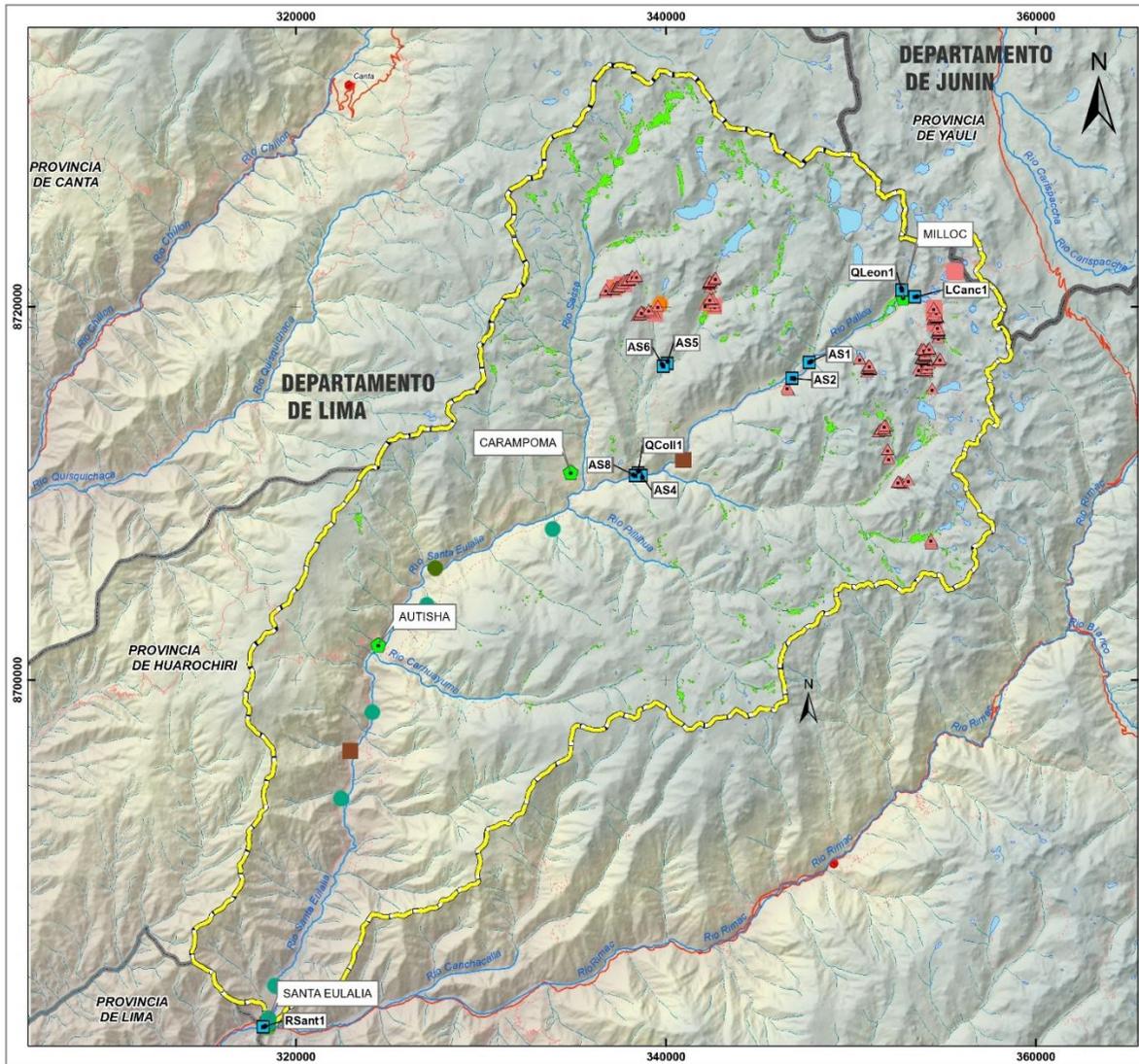
N°	Orden	Familia	Especie	Autor	Tipo de registro	IUCN	CITES	DS 043-2006-AG	Endemismo
1	Poales	Poaceae	<i>Aciachne acicularis</i>	Lægaard	Cuantitativo	-	-	-	-
2	Poales	Poaceae	<i>Aciachne pulvinata</i>	Benth.	Cuantitativo	-	-	-	-
3	Poales	Poaceae	<i>Agrostis breviculmis</i>	Hitchc.	Cuantitativo	-	-	-	-
4	Poales	Poaceae	<i>Agrostis sp.</i>	-	Cuantitativo	-	-	-	-
5	Asterales	Asteraceae	<i>Belloa kunthiana</i>	(DC.) Anderb. & S.E. Freire	Cuantitativo	-	-	-	-
6	Poales	Poaceae	<i>Calamagrostis chrysantha</i>	(J. Presl) Steud.	Cuantitativo	-	-	-	-
7	Poales	Poaceae	<i>Calamagrostis rigescens</i>	(J. Presl) Scribn.	Cuantitativo	-	-	-	-
8	Poales	Poaceae	<i>Cinnagrostis rigida</i>	(Kunth) P.M. Peterson, Soreng, Romasch. & Barberá	Cuantitativo	-	-	-	-
9	Poales	Poaceae	<i>Cinnagrostis spicigera</i>	(Kunth) P.M. Peterson, Soreng, Romasch. & Barberá	Cuantitativo	-	-	-	-
10	Poales	Poaceae	<i>Cinnagrostis vicunarum</i>	(Wedd.) P.M. Peterson, Soreng, Romasch. & Barberá	Cuantitativo	-	-	-	-
11	Asterales	Asteraceae	<i>Cotula mexicana</i>	(DC.) Cabrera	Cuantitativo	-	-	-	-
12	Asterales	Asteraceae	<i>Cuatrecasasiella isernii</i>	(Cuatrec.) H. Rob.	Cuantitativo	-	-	-	-
13	Poales	Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i>	Nees & Meyen	Cuantitativo	-	-	-	-
14	Gentianales	Gentianaceae	<i>Gentiana sp.</i>	-	Cuantitativo	-	-	-	-
15	Asterales	Asteraceae	<i>Hypochaeris taraxacoides</i>	(Walp.) Ball	Cuantitativo	-	-	-	-
16	Poales	Juncaceae	<i>Juncus stipulatus</i>	Nees & Meyen	Cuantitativo	-	-	-	-
17	Apiaceae	Apiales	<i>Lilaeopsis macloviana</i>	(Gand.) A.W. Hill	Cuantitativo	-	-	-	-

N°	Orden	Familia	Especie	Autor	Tipo de registro	IUCN	CITES	DS 043-2006-AG	Endemismo
18	Poales	Juncaceae	<i>Luzula racemosa</i>	Desv.	Cuantitativo	-	-	-	-
19	Lamiales	Orocanchaceae	<i>Neobartsia pedicularoides</i>	(Benth.) Uribe-Convers & Tank	Cuantitativo	-	-	-	-
20	Poales	Cyperaceae	<i>Phylloscirpus sp.</i>	-	Cuantitativo	-	-	-	-
21	Lamiales	Plantaginaceae	<i>Plantago tubulosa</i>	Decne.	Cuantitativo	-	-	-	-
22	Asterales	Asteraceae	<i>Senecio expansus</i>	Wedd.	Cuantitativo	-	-	--	-
23	Asterales	Asteraceae	<i>Werneria pygmaea</i>	Gillies ex Hook. & Arn.	Cuantitativo	-	-	-	-
24	Asterales	Asteraceae	<i>Werneria pinnatifida</i>	J. Rémy	Cualitativo	-	-	-	-
25	Asterales	Asteraceae	<i>Werneria nubigena</i>	Kunth	Cualitativo	-	-	-	-
26	Rosales	Rosaceae	<i>Alchemilla pinnata</i>	Ruiz & Pav.	Cualitativo	-	-	-	-
27	Lamiales	Plantaginaceae	<i>Plantago rigida</i>	Kunth	Cualitativo	LC	-	-	-
28	Caryophyllales	Caryophyllaceae	<i>Arenaria digyna</i>	Willd. ex D.F.K. Schtdl.	Cualitativo	-	-	-	-
29	Poales	Cyperaceae	<i>Eleocharis albibracteata</i>	Nees & Meyen ex Kunth	Cualitativo	-	-	--	-
30	Fabales	Fabaceae	<i>Astragalus garbancillo</i>	Cav.	Cualitativo	-	-	-	-
31	Poales	Cyperaceae	<i>Zameioscirpus muticus</i>	Dhooge & Goetgh.	Cualitativo	-	-	-	-

Anexo 10

Mapas





SIMBOLOGÍA

- VÍA NACIONAL
- VÍA DEPARTAMENTAL
- VÍA VECINAL
- CAPITAL PROVINCIAL
- LAGUNA
- BOFEDALES
- RIO
- QUEBRADA
- ACEQUIA
- LIMITE DEPARTAMENTAL
- LIMITE PROVINCIAL
- LIMITE DISTRITAL

LEYENDA

CUENCA SANTA EULALIA

ESTACIONES DE MONITOREO

ESTACION METEOROLOGICA

Fuentes contaminantes

- RS-GM
- AR-DO
- AR-MM
- AR-AP
- RS-GN
- RS-GP
- PAM

Estación	Tipo	Coordenadas UTM, Datum WGS84, Zona 18S		Altitud (m s. n. m.)
		Este (m)	Norte (m)	
Santa Eulalia		318 494	8 671 747	970
Autisha	Estación meteorológica convencional	324 436	8 711 899	2 220
Carampoma		334 839	8 711 151	3 424
Milloc		352 805	8 720 502	4 384

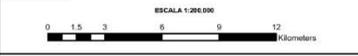
Código	Cuerpo de agua	Coordenadas UTM, Datum WGS84, Zona 18S		Altitud (m s. n. m.)
		Este (m)	Norte (m)	
LCanc1	Laguna Carochis	353 482	8 720 515	4 463
QLeon1	Quebrada Leoncocha	352 759	8 720 871	4 416
QCcoll1	Quebrada Collque	338 877	8 711 051	3 355
Ribent1	Rio Santa Eulalia	319 220	8 681 385	924
AS1	Rio Palca	347 746	8 717 019	4 083
AS2	Rio Palca	348 814	8 716 160	4 024
AS4	Rio Mzachaca	338 854	8 710 985	3 342
AS5	Quebrada Conay	340 562	8 716 544	4 113
AS6	Quebrada Conay	339 856	8 716 805	4 102
AS8	Rio Mzachaca	338 347	8 710 938	3 338

NOTAS

- La escala numérica refleja el tamaño completo de impresión. Imprimir considerando el tamaño original de la hoja disminuirá este escala, sin embargo la base de escala gráfica seguirá siendo exacta.
- Elaborado para fines de ilustración, la precisión no ha sido verificada para la construcción o fines de navegación.

REFERENCIAS

- Cartografía Nacional Fiscal: 1:100,000 IGN
- Cuenca Puzosca: INEI (2017)
- Red Nacional (2018)
- Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 18S



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS:
"INFLUENCIA DE LOS NIVELES DE METALES PESADOS EN LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO SANTA EULALIA"

UBICACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

FECHA: **SEP. 2024** ELABORADO POR: **VICTOR HUGO RETIS LANDAURO** N°: **U-02**



SIMBOLOGÍA

	QUEBRADA
	ACEQUIA
	LIMITE DEPARTAMENTAL
	LIMITE PROVINCIAL
	LIMITE DISTRITAL
	BOFEDALES

ESTACIONES

	● CALIDAD DE AGUA
	● CALIDAD DE SUELO
	● EVALUACIÓN DE BOFEDAL
	— TRANSECTOS

FUENTES CONTAMINANTES

	▲ PAM
	● AR-MM
	■ RS-GP

Código de estación	Coordenadas UTM, Datum WGS84 Zona 18S		Altitud (mnm)	Tipo de muestreo
	Este (m)	Norte (m)		
UM ₁	352 523	8 720 353	4 342	Bofedal
UM ₂	352 475	8 720 241	4 339	Bofedal
UM ₃	351 917	8 719 537	4 337	Bofedal
UM ₄	352 136	8 719 618	4 340	Bofedal
PMA-01	352 216	8 720 060	4 341	Agua
PMA-02	353 465	8 720 522	4 467	Agua
PMA-03	354 571	8 721 167	4 481	Agua
PMA-04	354 710	8 721 251	4 490	Agua
PM-S-01	353 465	8 720 522	4 467	Suelo
PM-S-02	354 571	8 721 157	4 481	Suelo

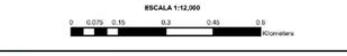
Transecto	Coordenadas UTM, Datum WGS84 Zona 18S			
	Inicio		Final	
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)
TR-01	352 540	8 720 328	352 508	8 720 354
TR-02	352 490	8 720 280	352 485	8 720 223
TR-03	351 928	8 719 558	351 892	8 719 528
TR-04	352 156	8 719 633	352 112	8 719 603
TR-05	351 794	8 719 485	351 751	8 719 455

NOTAS

1. La escala numérica refleja el tamaño completo de impresión. Imprimir cambiando el tamaño original de la hoja distorsionará esta escala, sin embargo la barra de escala gráfica seguirá siendo exacta.
 2. Elaborado para fines de ilustración, la precisión no ha sido verificada para la construcción o fines de navegación.

REFERENCIAS

- Cartografía Nacional Escala 1:100.000 IGN
 - Centros Poblados. INEI (2017)
 - Road Map. INTC (2016)
 - Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 18S



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS:
 "INFLUENCIA DE LOS NIVELES DE METALES PESADOS EN LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA EULALIA"

ESTACIONES DE MUESTREO DE AGUA, SUELO Y EVALUACIÓN DE ESTADO DE BOFEDAL

FECHA: SEP. 2024	ELABORADO POR: VICTOR HUGO RETIS LANDAURO	N° U-03
---------------------	--	------------