Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Farmacia y Bioquímica
Escuela Profesional de Toxicología

Evaluación de los índices de riesgo para la salud humana por contaminación de metales en aguas superficiales de la subcuenca del río Negro, Áncash

TESIS

Para optar el Título Profesional de Toxicólogo

AUTOR

Walter Angelo BRAVO ZEVALLOS

ASESORES

Yadira FERNÁNDEZ JERI
Juan Carlos TORRES LÁZARO (Coasesor)

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Bravo W. Evaluación de los índices de riesgo para la salud humana por contaminación de metales en aguas superficiales de la subcuenca del río Negro, Áncash [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Escuela Profesional de Toxicología; 2023.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Walter Angelo Bravo Zevallos
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73274790
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-2839-9979
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Yadira Fernández Jeri
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	28307333
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5775-065X
Datos de coasesor	
Nombres y apellidos	Juan Carlos Torres Lázaro
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	15434728
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-4915-8437
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Jorge Leonardo Jave Nakayo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01066653
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Mario Carhuapoma Yance
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	28297248
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Tania Torres Aguilar

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	28314802
Datos de investigación	
Línea de investigación	B.2.5.2. Cambios metabólicos por factores ambientales y genéticos
Grupo de investigación	Bioquímica Toxicológica - BIOTOX
Agencia de financiamiento	Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Áncash Provincia: Huaraz Distrito: Olleros Latitud: -9.6444 Longitud: -77.3867
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022-2023
URL de disciplinas OCDE	Toxicología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.01.07 Salud pública, Salud ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.03.05

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los miembros del Jurado Examinador y Calificador de la Tesis titulada:

"Evaluación de los índices de riesgo para la salud humana por contaminación de metales en aguas superficiales de la subcuenca del río Negro, Áncash"

Que presenta el Bachiller en Toxicología:

WALTER ANGELO BRAVO ZEVALLOS

Que reunidos en la fecha se llevó a cabo la **SUSTENTACIÓN** de la **TESIS**, y después de las respuestas satisfactorias a las preguntas y objeciones formuladas por el Jurado, ha obtenido la siguiente calificación final:

18 (DIECIOCHO)

de conformidad con el Art. 14.º del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para la obtención del Título Profesional de Toxicólogo (a) de la Facultad de Farmacia y Bioquímica.

Lima, 07 de agosto de 2023.

Dr. Jorge Leonardo Jave Nakayo
Presidente

Dr. Mario Carhuapoma Yance
Miembro

Mg. Tania Torres Aguilar
Miembro

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico – Lima 1 – Perú Teléfonos: (511) 619-7000 anexo 4826 Ap. Postal 4559 –Lima 1
E-mail: decanofyb@unmsm.edu.pe http://farmacia.unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE TOXICOLOGÍA

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Gloria Clotilde Gordillo Rocha en mi condición de Directora de la Escuela Profesional de Toxicología acreditada con la R.R. N° 003759-2023-R-/UNMSM, que la Tesis cuyo título es **"Evaluación de los índices de riesgo para la salud humana por contaminación de metales en aguas superficiales de la subcuenca del río Negro, Áncash"** presentado por el Bachiller **WALTER ANGELO BRAVO ZEVALLOS,** para optar el grado académico de Toxicólogo.

CERTIFICO: que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 8% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.

Firma de la Directora E.P. de Toxicología Gloria Gordillo Rocha

DNI: 10223170

Nombres y apellidos de la Directora E.P. de Toxicología:
Dra. Gloria Clotilde Gordillo Rocha

DEDICATORIA

A mi querido padre, Walter Félix Bravo Chipa

Este trabajo de investigación está dedicado a tu memoria, en honor a tu vida y legado. Tu excelencia académica y profesional, constante ánimo y amor siempre fueron, y serán una fuente de inspiración para mí, y gracias a eso, hoy puedo presentar este trabajo con orgullo y dedicación.

A mi familia y amigos,

En especial a mi madre, Rosa Zevallos Almanza, y a mis hermanos Tania, Carmen y Pol, así como a la familia Cueva Flores.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo y consejos que me ayudaron a cumplir con el desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Yadira Fernandez Jeri e Ing. Juan Carlos Torres Lázaro, mis asesores de tesis, por su confianza, motivación y orientación constante en la presente investigación. Agradezco su paciencia y dedicación en brindarme sus valiosos consejos y conocimientos, que han sido fundamentales para el éxito de la investigación.

Al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña por el valioso respaldo financiero que ha hecho posible la realización de la presente investigación.

Al equipo de profesionales de la Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares del INAIGEM, liderado por el Ing. Juan Carlos Torres Lázaro, por su invaluable respaldo en todas las etapas de la investigación. Su invaluable contribución ha sido fundamental e invaluable para el desarrollo de la investigación.

Al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, liderado por el Ing. Henry Luna Córdova, por su invaluable colaboración en el análisis químico del agua. En particular al Ing. Luis Vargas, Quim. Mayra Mogrovejo, Ing. Virma Ñopo y Quim. Jorge Abad.

Al grupo de investigación Bioquímica Toxicológica, liderado por la Dra. Yadira Fernandez Jeri. Aprecio profundamente la guía e invaluable conocimiento que me han proporcionado.

Finalmente, manifestar mi profundo agradamiento a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por su invaluable contribución en términos de conocimiento y la rigurosa exigencia académica.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN ***1***

I.1 Planteamiento del problema **1**
I.1.1 Planteamiento del problema 1
I.1.2 Formulación del problema 3

I.2 Objetivos **3**
I.2.1 Objetivo general 3
I.2.2 Objetivos específicos 3

I.3 Importancia y alcance de la investigación (justificación) **4**

I.4 Limitaciones **4**

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA ***6***

II.1 Marco teórico **6**
II.1.1 Concepto de riesgo y peligro 6
II.1.2 Riesgo para la salud humana 6
II.1.3 Evaluación de riesgos para la salud 7
II.1.4 Metodologías de evaluación de riesgos para la salud 8
II.1.5 Proceso de la evaluación de riesgos para la salud 13
II.1.6 Drenaje de roca 18
II.1.7 Metales y metaloides 23
II.1.8 Cuenca hidrográfica 23
II.1.9 Agua superficial 24
II.1.10 Contaminación ambiental 24

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES ***26***

III.1 Hipótesis **26**
III.1.1 Hipótesis general 26
III.1.2 Hipótesis específicas 26

III.2 Variables **26**

III.3 Operacionalización de variables **27**

IV. MATERIALES Y MÉTODOS ***29***

IV.1 Área de estudio y coordenadas **29**

IV.2 Tipo de estudio **31**

IV.3 Población y muestra **31**
IV.3.1 Población de estudio 31
IV.3.2 Muestra y muestreo 31

IV.4 Procedimientos e instrumentos de recolección de información **31**
IV.4.1 Muestreo de agua superficial 31
IV.4.2 Evaluación de la contaminación 45
IV.4.3 Evaluación del riesgo para la salud humana 46
IV.4.4 Análisis estadístico 53
IV.4.5 Análisis espacial 53

V. RESULTADOS *54*

V.1 Resultados del análisis descriptivo e inferencial **54**

V.2 Resultados de la evaluación de la calidad ambiental del agua **64**

V.2.1 Parámetros evaluados con el ECA-Categ.1.A2 64

V.2.2 Parámetros evaluados con el ECA-Categ.4 74

V.3 Resultados de la evaluación del grado de contaminación **80**

V.4 Determinación de las fuentes contaminantes **82**

V.4.1 Análisis de componentes principales 82

V.4.2 Análisis de conglomerados 95

V.5 Resultados del riesgo para la salud humana **97**

V.6 Resultados de la distribución espacial de HPI y HI **101**

VI. DISCUSIÓN *104*

VII. CONCLUSIONES *115*

VIII. RECOMENDACIONES *117*

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS *118*

X. ANEXOS *140*

ANEXO A: Matriz de consistencia 140

ANEXO B: Registro de identificación del punto de muestreo. 141

ANEXO C: Registro de datos de parámetros *in situ.* 142

ANEXO D: Etiqueta de muestra de agua. 143

ANEXO E: Cadena de custodia. 144

ANEXO F: Preservación de muestra de agua 145

ANEXO G: Criterios de aceptación de muestras de agua del INGEMMET 146

ANEXO H: Resultados del registro de identificación de puntos de muestreos 147

ANEXO J: Resultados de parámetros *in situ.* 168

ANEXO K: Resultados de análisis de aniones y metales totales. 170

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de la evaluación y gestión del riesgo. 8
Figura 2. Representación para derivar la dosis de referencia oral (RfD) y dosis de referencia por inhalación (RfC). 16
Figura 3. Modelo de etapas múltiples linealizado para inferir el riesgo de cáncer a partir de una curva dosis-respuesta empleando el factor dependiente del cáncer (SF). 17
Figura 4. Tipos de drenaje producido por oxidación de sulfuro. 19
Figura 5. Etapas de formación de drenajes ácido de roca. 21
Figura 6. Modelo de oxidación de pirita. 22
Figura 7. Mapa de la subcuenca del río Negro. 30
Figura 8. Mapa de infraestructuras hidráulicas de la subcuenca del río Negro. 32
Figura 9. Mapa de áreas naturales protegidas de la subcuenca del río Negro. 32
Figura 10. Mapa vial del distrito de Olleros, provincia de Huaraz, departamento de Áncash. 33
Figura 11. Mapa de la red de puntos de muestreo. 37
Figura 12.Diagrama de cajas de parámetros pH, CE y TDS. 56
Figura 13. Diagrama de cajas de parámetros OD, temperatura y salinidad. 56
Figura 14. Diagrama de cajas de parámetros de F^-, Cl^-, K y Zn. 57
Figura 15. Diagrama de cajas de parámetros de Ca y Mg. 57
Figura 16. Diagrama de cajas de parámetros de SiO2, Al, Mn y Na. 58
Figura 17. Diagrama de cajas de parámetros $SO_4^=$, Fe y S. 59
Figura 18. Diagrama de cajas de parámetros Sr, Li, Co y Ni. 59
Figura 19. Diagrama de cajas de parámetros Ba, Ce, Cu, La, Ti e Y. 60
Figura 20. Diagrama de cajas de parámetros de Be, Cd y V. 61
Figura 21. Diagrama de cajas de parámetros As, Mo, Pb y U. 61
Figura 22. Comparación del pH de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 64
Figura 23. Comparación del OD (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 65
Figura 24. Comparación de CE (µS/cm) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 65
Figura 25. Comparación de TDS (ppm) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 66
Figura 26. Comparación de Cl- (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 66
Figura 27. Comparación de SO4= (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 67
Figura 28. Comparación de Fe (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 67
Figura 29. Comparación de Al (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 68
Figura 30. Comparación de As (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 68
Figura 31. Comparación de B (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2 69
Figura 32. Comparación de Ba (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2 69
Figura 33. Comparación de Be (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2 70
Figura 34. Comparación de Cd (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 70
Figura 35. Comparación de Cr (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 71
Figura 36. Comparación de Cu (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 71
Figura 37. Comparación de Mn (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 72
Figura 38. Comparación de Pb (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2 72
Figura 39. Comparación de U (mg /L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 73
Figura 40. Comparación de Zn (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2. 73
Figura 41. Comparación del pH de puntos de muestreo con el ECA-Categ4. 74
Figura 42. Comparación del OD (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4. 75
Figura 43. Comparación de CE (µS/cm) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4. 75
Figura 44. Comparación de Ba (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4. 76
Figura 45. Comparación de Cu (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4. 77
Figura 46. Comparación de Ni (mg /L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4. 77
Figura 47. Comparación de Pb (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4. 78
Figura 48. Comparación de Zn (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4. 79
Figura 49. Gráfico de barras de HPI. 80
Figura 50. Gráfico circular de categorización de HPI. 81
Figura 51. Coeficientes de correlación de metales (Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn) y parámetros in situ (pH, EC y TDS) del agua superficial de la subcuenca del río Negro; (*) correlación significativa a $p < 0.05$ (bilateral) y (**) correlación significativa a $p < 0.01$ (bilateral). 85

Figura 52. Gráfico de sedimentación de autovalores. 88
Figura 53. Gráfico de sedimentación del porcentaje de varianza explicada. 88
Figura 54. Correlación de variables con las componentes principales. 90
Figura 55. Score plot de los puntos de muestreo de agua de la subcuenca del río Negro. 91
Figura 56. Calidad de representación de los puntos de muestreo de agua. 92
Figura 57. Loading plot de variables de metales y parámetros in situ. 92
Figura 58. Contribución de las variables a la PC1 y PC2. 93
Figura 59. Contribución de las variables a la PC1. 93
Figura 60. Contribución de las variables a la PC2. 94
Figura 61. Biplot del análisis de componentes principales. 94
Figura 62. Dendrograma de casos. 95
Figura 63. Dendrograma de variables. 96
Figura 64. Diagrama de cajas del HI de Co, Fe, Li, Mn, Al, Ni y Zn en niños y adultos. 97
Figura 65. Mapa de distribución geoespacial de HPI. 101
Figura 66. Distribución geoespacial del HI del Fe, Li, Al y Co (a) HI por Fe para niño; (b) HI por Fe para adulto; (c) HI por Li para niño; (d) HI por Li para adulto; (e) HI por Al para niño; (f) HI por Al para adulto; (g) HI por Li para niño; (h) HI por Co para adulto 102
Figura 67. Distribución geoespacial de HI de Mn, Ni y Zn (a) HI por Mn para niño; (b) HI por Mn para adulto; (c) HI por Ni para niño; (d) HI por Ni para adulto; (e) HI por Zn para niño; (f) HI por Zn para adulto 103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normas, guías o directrices en diferentes países para la evaluación de riesgos para la salud humana. 9
Tabla 2. Operacionalización de variables. 27
Tabla 3. Características generales de la subcuenca del río Negro. 29
Tabla 4. Red de puntos de muestreo de la subcuenca del río Negro. 35
Tabla 5. Parámetros evaluados. 38
Tabla 6. Fundamento de la medición de parámetros del multiparámetro Hanna HI98194. 40
Tabla 7. Fundamento de métodos de análisis. 43
Tabla 8. Límite máximo permisible de metales en agua potable. 46
Tabla 9. Datos para el cálculo de exposición para la determinación del riesgo no carcinogénico por ingesta de agua. 48
Tabla 10. Datos para el cálculo de exposición para la determinación del riesgo carcinogénico por ingesta de agua. 49
Tabla 11. Datos para el cálculo de exposición para la determinación del riesgo no carcinogénico por contacto dérmico. 49
Tabla 12. Datos para el cálculo de exposición para la determinación del riesgo carcinogénico por contacto dérmico. 50
Tabla 13. Valores de dosis de referencia por ingesta y contacto dérmico de metales. 51
Tabla 14. Valores del factor dependiente del cáncer. 53
Tabla 15. Estadísticos descriptivos de los parámetros. 54
Tabla 16. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de los parámetros. 62
Tabla 17. Prueba de normalidad multivariada. 82
Tabla 18. Matriz de correlaciones. 83
Tabla 19. Prueba de esfericidad de Bartlett y KMO. 86
Tabla 20. Matriz de correlación anti-imagen. 87
Tabla 21. Varianza total explicada. 89
Tabla 22. Comunalidades. 89
Tabla 23. Matriz de componente. 90
Tabla 24. Índice de riesgo no carcinogénico (HI) de parámetros Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn en niños y adultos. 98
Tabla 25. Coeficientes de riesgo (HQ) de parámetros Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn de niños. 99
Tabla 26. Coeficientes de riesgo (HQ) de parámetros Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn de adultos. 100

RESUMEN

La contaminación natural del agua superficial por metales, debido a la generación de drenajes ácido de roca en cuenca glaciar como una probable consecuencia de la desglaciación, es una preocupación en Áncash, Perú debido al impacto negativo en la salud humana y los medios de vida. Por ello, se evaluó los índices de riesgo para la salud humana por la contaminación de metales (Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn) en las aguas superficiales de la subcuenca del río Negro en 19 puntos de muestreo de agua. La evaluación de la calidad, la fuente y el riesgo para la salud humana se determinó utilizando los estándares de calidad ambiental, índice de contaminación por metales pesados (HPI), análisis de componentes principales (PCA), análisis de clúster (CA) e índice de riesgo no carcinogénico (HI) y análisis geoespacial. Los valores medios fueron 4.077 (pH), 156.726 mg/L ($SO_4^=$), 28.597 mg/L (Fe), 0.035 mg/L (Li), 3.832 mg/L (Al), 0.053 mg/L (Co), 1.085 mg/L (Mn), 0.085 mg/L (Ni) y 0.234 mg/L (Zn). Los resultados mostraron que existen valores de pH, Fe, Mn y Al por encima del ECA-Categ1.A2 y valores de pH, conductividad eléctrica (CE), Ni y Zn por encima del ECA-Categ4; el HPI promedio fue 360.959, indicando contaminación alta, cabe señalar que el Fe, Al y Mn contribuyeron más al índice; los resultados de PCA y CA indicaron que la fuente de Fe, Li, Al, Co, Ni y Zn se derivaron por contaminación natural, producto de la oxidación y lixiviación de rocas con presencia de sulfuros. También, se determinó que existe riesgo no carcinogénico en niños (HI≥1) por Fe en los puntos de muestreo QPuma, QSNom3 y QUqui, por Li en QSNom3 y Co en LTara1, LTara3, QOtut, QPuma, Rure2, QRure3, QSNom3, QSNom5, QSNom7, QUqui, RNegr y ROlle. Asimismo, existe riesgo no carcinogénico en adultos (HI≥1) por Fe en los puntos de muestreo QPuma y Co en LTara1, LTara3, QOtut, QPuma, QSNom3, QSNom5, QSNom7, QUqui y RNegr, demostrando que existe mayor riesgo a la salud en niños en comparación con adultos. La distribución geoespacial del HPI y HI, se enfocaron en las quebradas Rurec, Pumahuaganga, Otuto y Uquian. Se concluyó que el agua superficial de la subcuenca del río Negro tiene contaminación alta y no es apta para el consumo humano, representando riesgo no carcinogénico para los metales Fe, Co y Li en niños y adultos.

Palabras claves: Contaminación, agua superficial, drenaje ácido de roca, riesgo para la salud humana, subcuenca del río Negro.

SUMMARY

Metal contamination in surface water, due to the generation of acid rock drainage in glacial basins as a probable consequence of deglaciation, is a concern in Ancash-Peru due to the negative impact on human health and livelihoods. Therefore, the human health risks indices due to metal contamination (Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni and Zn) in surface waters of the Rio Negro sub-basin were evaluated at 19 water sampling points. Quality, type of water pollution source and human health risk assessment were determined using the Environmental Quality Standard (ECA) for water quality, Heavy metal Pollution Index (HPI), Principal Component Analysis (PCA), Cluster Analysis (CA), non-carcinogenic risk index (HI), and geospatial analysis. The mean values were 4.077 (pH), 156.726 mg/L (SO4 =), 28.597 mg/L (Fe), 0.035 mg/L (Li), 3.832 mg/L (Al), 0.053 mg/L (Co), índices1,085 mg/L (Mn), 0.085 mg/L (Ni) and 0.234 mg/L (Zn).The results showed that there are values of pH, Fe, Mn and Al above the ECA-Categ1.A2 and pH values, electrical conductivity (CE), Ni and Zn above the ECA-Category 4; the mean HPI was 360.959, indicating high contamination, cause to point out that Fe, Al and Mn contributed more to the index. The results of PCA and CA indicated that the source of Fe, Li, Al, Co, Ni and Zn were derived by natural contamination, because of oxidation and leaching of rocks with sulfide. It was also determined that there is a non-carcinogenic risk in children (HI≥ 1) due to the presence of Fe in QPuma, QSNom3 and QUqui sampling points; Li in QSNom3 sampling point and Co in LTara1, LTara3, QOtut, QPuma, Rure2, QRure3, QSNom3, QSNom5, QSNom7, QUqui, RNegr, and Rolle sampling points. Likewise, there is a non-cancerous risk in adults (HI≥ 1) due to the presence of Fe in QPuma sampling point and Co in LTara1, LTara3, QOtut, QPuma, QSNom3, QSNom5, QSNom7, QUqui and RNegr sampling points, demonstrating that there is a higher health risk in children compared to adults. The geospatial distribution of HPI and HI were focused at Quebrada Rurec, Quebrada Pumahuaganga, Quebrada Otuto and Quebrada Uquian. It was concluded that the surface water of the Black River sub-basin has high pollution and is not fit for human consumption, representing non-cancerous risk for the Fe, Co and Li metals in children and adults.

Keywords: Pollution, surface water, acid rock drainage, health risk, sub-basin of the Negro River.

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Planteamiento del problema

I.1.1 Planteamiento del problema

El calentamiento global se caracteriza por el incremento de la temperatura media global, ocasionado por la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmosfera. La influencia de las actividades humanas sobre el calentamiento global es evidente, trayendo como consecuencia sequías, aumento del nivel del mar, tormentas, desaparición de especies, deshielo, mayor riesgo para la salud, etc. [1]. Las causas que la explican son la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), representando más del 75% de GEI y casi el 90% del total de emisiones de dióxido de carbono; asimismo, el 28% de las emisiones de GEI mundial provienen del sector transporte [2,3].

Aproximadamente el 99% de los glaciares tropicales del mundo se encuentran en la Cordillera de los Andes, de los cuales el 71% se localiza en el Perú, 20% en Bolivia, 4% en Ecuador y 4% en Colombia y Venezuela. Por ello, el Perú es considerado el tercer país más vulnerable al cambio climático después de Bangladesh y Honduras, presentando siete de las nueve características de vulnerabilidad reconocidas por la Convención Marco de las Naciones Unidas[4]. Asimismo, las proyecciones establecen que para el 2030, el Perú registrará un incremento de 1°C en la temperatura y 10% mayor variabilidad de precipitaciones [4, 5].

El proceso de desglaciación en Perú se ha acelerado durante más de tres décadas debido al calentamiento global y la disminución de las precipitaciones, conllevando a la desaparición total o parcial de glaciares. En 1962, las 18 cordilleras nevadas del Perú tuvieron una extensión de 2 399.06 Km^2 y en 2018 fue 1 114.11 Km^2 , durante más de 50 años hubo una pérdida del 53.56%[6].

La Cordillera Blanca contiene cerca de 514 lagunas, 755 glaciares y nevados, siendo los más importantes el Huascarán, Chacraraju y Alpamayo. El INAIGEM [6] reportó que durante 1962 a 2018 la Cordillera Blanca perdió el 37.95% de cobertura glaciar, de 723.37 Km^2 a 448.81 Km^2 . Esta desglaciación expone las rocas al oxígeno y al agua, lo que conduce a procesos naturales

de oxidación y lixiviación. Como resultado, se producen drenajes ácidos de roca (DAR) en las cabeceras de cuenca glaciares, los cuales fluyen hacia los cuerpos de agua. Este fenómeno ya es observable en la microcuenca Pachacoto[7] y subcuenca Quillcay[8,9,10]. Los DAR tienen la característica de tener altas concentraciones de metales, sulfatos y pH ácido (pH<4) [11,12].

El impacto negativo de los DAR en agua superficial se manifiesta en su alta solubilidad y concentración de metales, que por su movilidad y biodisponibilidad incrementan su toxicidad[13]. En este sentido, la peligrosidad de los DAR radica en las altas concentraciones de metales esenciales (Cu, Zn, Fe, Cr, Co y Ni) y no esenciales (Li, Al, Hg, Pb, Cd, As y Al), que pueden causar efectos tóxicos a los seres vivos, estas concentraciones afectan a los orgánulos, componentes celulares, enzimas y a los mecanismos de reparación celular, ocasionando enfermedades carcinogénicas y no carcinogénicas [14,15].

En el distrito de Olleros, provincia Huaraz, departamento de Áncash se encuentra ubicada la subcuenca del río Negro, constituye la principal fuente de agua para diversas actividades productivas (agricultura y ganadería) y consumo humano directo. La ANA[16,17,18] realizó monitoreos de agua y sedimentos en el río Negro durante el periodo 2013-2015; reportando que el pH, Al, Fe y Ni estuvieron fuera del rango establecido por el estándar de calidad de agua (ECA-Categ1. A2); asimismo, estudios evidencian la alta contaminación de la subcuenca con metales como Al, Mn, Ni, Zn, Fe y Ni [19,20]; esto asociado a la generación de DAR, producto de la desglaciación [21-24].

Por ello, en la presente investigación se propuso evaluar los índices de riesgo para la salud humana por contaminación de metales en agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash.

I.1.2 Formulación del problema

I.1.1.1 Problema general

¿Existe riesgo para la salud humana debido a la exposición de agua superficial con metales en la subcuenca del río Negro, Áncash?

I.1.1.2 Problemas específicos

1. ¿Cuál es la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash?
2. ¿El índice de contaminación por metales pesados en el agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash es baja, intermedia o alta?
3. ¿La contaminación por metales en agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash son originados por fuente natural o antropogénica?
4. ¿Existirá riesgo para salud humana debido a la exposición a metales en el agua superficial de la subcuenca del río Negro?
5. ¿Cuál es la distribución geoespacial del índice de contaminación por metales pesados e índice del riesgo para la salud humana?

I.2 Objetivos

I.2.1 Objetivo general

Evaluar los índices de riesgo para la salud humana por la contaminación de metales en aguas superficiales de la subcuenca del río Negro, Áncash.

I.2.2 Objetivos específicos

1. Determinar la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash.
2. Calcular el índice de contaminación por metales pesados del agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash.
3. Identificar las fuentes naturales y/o antropogénicas de metales que contaminan el agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash.
4. Determinar el índice de riesgo para la salud humana por la exposición a metales en agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash.
5. Establecer la distribución geoespacial del índice de contaminación por metales pesados e índices del riesgo para la salud.

I.3 Importancia y alcance de la investigación (justificación)

La evaluación de los índices de riesgo para la salud humana por la exposición a metales en agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash permitió determinar e identificar que metales en el agua superficial representa un riesgo significativo para la salud, asimismo, permitió identificar las zonas donde la contaminación es alta, baja o intermedia, teniendo en cuenta los criterios de calidad ambiental y el índice de contaminación por metales pesado. La protección de la salud humana es la razón fundamental por la cual es relevante realizar la evaluación de riesgos para la salud. La exposición a Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni, Zn, sulfatos y pH ácido, el cual es característico para aguas contaminadas por DAR, pueden generar intoxicaciones agudas, sub-crónicas o crónicas a la salud de las personas residentes y/o visitantes a los atractivos turísticos.

Finalmente, la presente investigación estableció un diseño simple, replicable, económico y viable que puede ser utilizado para la identificación de áreas o puntos potencialmente contaminados, el cual permitirá la ubicación de zonas contaminadas para la implementación de técnicas de descontaminación, tales como la biorremediación, así como la elaboración y ejecución de políticas públicas de salud y ambiente, inversión público y/o privada, tales como la construcción de infraestructura para la descontaminación de los recursos hídricos con la finalidad de aprovechar sosteniblemente el agua, el cual contribuirá la mejora de la productividad agrícola, ganadera e inocuidad alimentaria; por lo tanto, en la calidad de vida de los ciudadanos de la subcuenca.

I.4 Limitaciones

Existieron limitaciones durante el proceso de muestreo debido a la topografía agreste y empinada de la zona, lo que aumentó significativamente el riesgo de accidentes para el personal de muestreo y los equipos; por lo que, se priorizó muestreos en zonas seguras; asimismo, la lejanía de los puntos de muestreo representó un esfuerzo adicional en la logística y eventualmente en más días para cumplir con el muestreo. Las limitaciones metodológicas en la evaluación de riesgos para la salud humana propuesta para la investigación fueron: la falta de datos de la dosis de referencia; asimismo, la metodología no contempló la variación interindividual, puesto que, los riesgos para la salud de los metales en agua fueron evaluados individualmente y no como mezclas. Por otro lado, la red

de puntos de muestreo del recurso hídrico de la subcuenca no tuvo una distribución homogénea, por lo que, la interpolación geoespacial de los mapas podría tener limitaciones en la representación del índice de riesgo no carcinogénico (HI) e índice de contaminación por metales pesados (HPI). Finalmente, la principal fuente de parámetros y datos se obtuvo de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (US EPA, en sus siglas en ingles) y en menor medida del Ministerio del Ambiente (MINAM), por lo que los resultados podrían tener sesgo.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

II.1 Marco teórico

II.1.1 Concepto de riesgo y peligro

El MINAM[25] define al riesgo como la probabilidad que un agente físico, químico o biológico puede ocasionar efectos negativos en la salud del hombre, medios de vida o en la calidad de los componentes ambientales en función de las características y cantidad del agente que entra en contacto con los receptores, considerando la intensidad del efecto y la cantidad de individuos, ecosistemas, medios de vida o bienes.

Los riesgos se pueden caracterizar en varias dimensiones, esto incluye la probabilidad de un daño determinado, así como su probable gravedad y duración. En otras palabras, el riesgo es la combinación de la probabilidad y la consecuencia de no controlar un peligro; el peligro es definido como la condición o característica intrínseca que puede causar lesión, enfermedad, daño a la propiedad o al medio ambiente[26].

II.1.2 Riesgo para la salud humana

El riesgo y peligro son conceptos utilizados para la descripción de aspectos del daño potencial a la salud, por cuanto, el riesgo a la salud es definido como la probabilidad de sufrir una lesión, daño o enfermedad a causa de la exposición a factores de riesgo (ambientales, sociales, biológicos, etc.). Por ejemplo, la exposición crónica al arsénico (As) inorgánico, en concentraciones bajas (0.01 mg/L) puede causar enfermedades carcinogénicas y no carcinogénicas; Wei et al. [27] mencionan que el cáncer al pulmón es una de las primeras causas de mortalidad en poblaciones expuestas a As en agua potable; por ello, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) clasificó al As como agente carcinogénico para el hombre, grupo I [28].

La US EPA [26] define al riesgo para la salud humana como “la probabilidad de que una determinada exposición o serie de exposiciones pueda haber dañado o dañará la salud de las personas”, mientras que el peligro para la salud es “una fuente potencial de daño o efecto adverso para la salud de una persona o personas”.

II.1.3 Evaluación de riesgos para la salud

La evaluación de riesgos para la salud (HHRA, en sus siglas en inglés) es un método que evalúa los efectos adversos causados por una serie de exposiciones a agentes químicos, físicos o biológicos de origen natural o antropogénico. Este proceso consta de cuatro etapas: (a) identificación del peligro, (b) evaluación de la dosis-respuesta, (c) evaluación de la exposición y (d) caracterización del riesgo.

La US EPA[29] menciona que la HHRA es "un proceso para estimar la naturaleza y la probabilidad de efectos adversos para la salud en humanos, que pueden estar expuestos a sustancias químicas en medios ambientales contaminados, ahora o en el futuro"; la OMS [30] define como un proceso con el objetivo de estimar el riesgo para un organismo, sistema o población definida expuesta a un agente (químico, biológico o físico) esto incluye la identificación y caracterización del peligro, el proceso se centra en el peligro, en el que la evaluación de la exposición es una etapa adicional distinta; el Consejo Nacional de Investigación [31] (NRC, en sus siglas en inglés) define a HHRA como la evaluación de las propiedades peligrosas de los agentes ambientales y evalúa el nivel de exposición humana a estos agentes.

Otros autores [32, 33, 34] convergen que el HHRA es un proceso metodológico con el objetivo de identificar, cuantificar y evaluar las exposiciones a agentes contaminantes (físicos, químicos o biológicos) con la finalidad de determinar si existe riesgo para la salud humana.

Por lo tanto, la HHRA es un proceso que evalúa las características, magnitud y probabilidad de generar impactos negativos a la salud de las personas expuestas a medios ambientales contaminados; este proceso involucra la utilización de información ambiental (monitoreos o muestreo de agua, aire, suelo o sedimentos). El objetivo del HHRA es evaluar el área contaminada y el riesgo para la población, con la finalidad de proponer proyectos de descontaminación, monitoreo y mejoramiento de la salud .

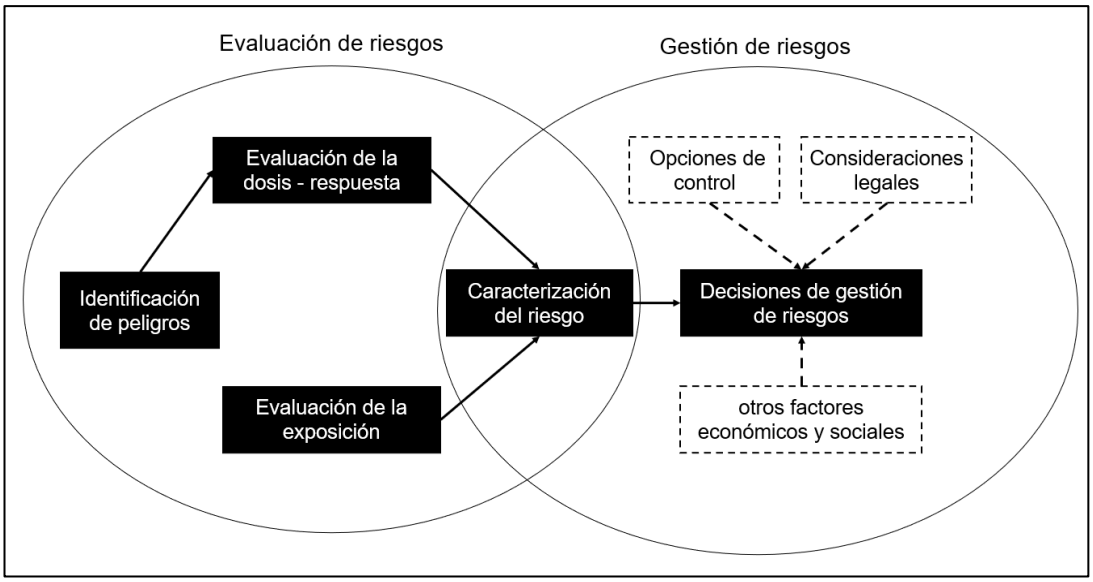


Figura 1. Diagrama de la evaluación y gestión del riesgo.
Fuente: National Research Council, NRC [35]

II.1.4 Metodologías de evaluación de riesgos para la salud

A principios de 1980 las metodologías de HHRA era aplicada en EE.UU, investigando a los principales contaminantes ambientales de la época[36]. En 1983, se consolida la metodología en cuatro fases las cuales son: identificación del peligro, evaluación de la exposición, evaluación de la dosis-respuesta y caracterización del riesgo[37].

La innovación de la metodología fue en Países Bajos en 1989, donde la esencia de la evaluación de riesgos estuvo orientado a la expresión cuantitativa del riesgo y su incertidumbre asociada; una innovación incorporada en valores numéricos para los niveles de riesgo aceptable e insignificante, con efectos de respuesta al umbral, al nivel individual y/o en poblaciones [37].

Actualmente, existen diversas metodologías para la evaluación de riesgos para la salud humana; sin embargo, el país que lidera con estas metodologías es la US EPA.

Tabla 1. Normas, guías o directrices en diferentes países para la evaluación de riesgos para la salud humana.

Norma, guía o directriz	Descripción
Estados Unidos	
Directrices para la evaluación de la exposición humana [38].	Explica los principios y evaluación de la exposición; estas directrices se centran en la exposición humana a agentes químicos en escenarios no ocupacionales.
Marco para la evaluación de riesgos para la salud humana para informar la toma de decisiones [39].	Describe el proceso de la evaluación de riesgo, el cual desempeña un papel crucial para la toma de decisiones, enfocándose en la planificación, alcance de la evaluación, la importancia de la revisación técnico-científica y la participación de la comunidad y partes interesadas.
Manual de factores de exposición [40].	La finalidad del manual es (a) Resumir las características fisiológicas y datos sobre el comportamiento humano que influyan en la exposición a contaminantes ambientales; (b) Proporcionar a los evaluadores valores recomendados, detallados en (a), para realizar una adecuada evaluación de la exposición en niños y adultos.
Conceptos, métodos y fuentes de datos para la evaluación acumulativa de riesgos para la salud de múltiples sustancias químicas, exposiciones y efectos: un documento de recursos [41].	Este informe se enfoca en los conceptos asociados con aquellos factores iniciadores para la evaluación de riesgos acumulativos para obtener y organizar datos con enfoques técnico-científico para evaluar y caracterizar problemas de riesgo acumulativo.
Un marco para evaluar el riesgo para la salud de	Este documento desarrolla un marco general para la evaluación de la exposición de los

la exposición ambiental de los niños [42].	niños a agentes ambientales, centrándose en la exposición desde la preconcepción hasta la adolescencia.
Manual para la valoración de los efectos sobre la salud no relacionados con el cáncer [43].	Este documento recopila antecedentes, teoría y metodologías relacionadas con la valoración económica de los efectos sobre la salud no relacionados al cáncer.
Manual de Caracterización de Riesgos [44].	Esta guía proporciona los objetivos, principios de la caracterización del riesgo, la importancia de la planificación, alcance, elementos principales y factores para la toma de decisiones en la caracterización de riesgos.
Guía de evaluación de riesgos para Superfund (RAGS) [45].	Esta guía proporciona un marco de desarrollo para realizar la evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados con el fin de colaborar en la toma de decisiones en áreas de recuperación.
Canadá	
Guía para evaluar los impactos en la salud humana en la evaluación ambiental: Evaluación de riesgos para la salud humana [46].	Esta guía proporciona información y metodología para evaluar los riesgos para la salud humana en los proyectos de infraestructura y recursos en Canadá; esta guía también aplica para la evaluación de riesgos en sitios contaminados.
Evaluación federal de riesgos de sitios contaminados en Canadá: orientación complementaria sobre la evaluación de riesgos para la salud humana de	Es un documento que orienta la incorporación de la biodisponibilidad oral de sustancias inorgánicas en evaluaciones de riesgo para la salud en suelos, sedimentos o medios similares al suelo contaminados.

la biodisponibilidad oral de sustancias en el suelo y medios similares al suelo [47].	
Manual de orientación para la caracterización ambiental del sitio en apoyo de la evaluación de riesgos ambientales y para la salud humana [48].	El manual incorpora un enfoque coherente para el muestreo y análisis ambiental, asegurando que la información y/o datos sean representativos y con calidad para la adecuada evaluación de riesgos.
Evaluación Federal de Riesgos de Sitios Contaminados en Canadá, Parte I: Orientación sobre la Evaluación Cuantitativa Preliminar de Riesgos para la Salud Humana (PQRA), Versión 3.0 [49].	El objetivo del documento es reducir los riesgos ambientales y para la salud de áreas contaminadas en Canadá. Delimita la aplicabilidad de una evaluación preliminar de riesgos cuantitativos proporcionando un método estandarizado y características de los receptores.
Australia	
Evaluación de riesgos para la salud ambiental: Directrices para evaluar los riesgos para la salud humana derivados de peligros ambientales [50].	Este documento proporciona un enfoque y metodología para la evaluación de riesgos para la salud ambiental, aplicable a una variedad de peligros ambientales, se centra en peligros químicos; sin embargo, se puede aplicar a peligros físicos y microbiológicos.
Reino Unido	
Herramienta de Evaluación de Exposición a Tierras Contaminadas (CLEA) [51].	Esta herramienta es un software basado en el modelo CLEA que utiliza hipótesis genéricas sobre el destino y transporte de sustancias químicas en el medio ambiente; así como ejecuta un modelo conceptual del

	área de estudio y comportamiento humano para estimar la exposición a niños y adultos.
Evaluación toxicológica para la salud humana de los contaminantes en el suelo [52].	Esta guía aborda conceptos toxicológicos y proporciona valores de referencia con el objetivo de salvaguardar la salud. Además, propone un método de modelamiento de exposición química para evaluar los riesgos asociados a la contaminación del suelo y sus implicaciones para la salud.
China	
Directrices Técnicas para la Evaluación de Riesgos de Sitios Contaminados [53].	Esta norma brinda conceptos y metodología para realizar evaluaciones de riesgo en salud en sitios contaminados; estas directrices se centran en evaluaciones en suelos y aguas subterráneas. Por otro lado, no aplica para evaluaciones de riesgo en plomo, sustancias radioactivas, patógenos biológicos y contaminación en suelos agrícolas.
Organización Mundial de la Salud (OMS)	
Caja de herramientas de evaluación de riesgos para la salud humana de la OMS: peligros químicos [54].	Este documento brinda una metodología para (a) identificar y conceptualizar la información para evaluar la exposición, peligros y riesgos de sustancias químicas; (b) evaluar los riesgos.
México	
Guía Técnica para Orientar la Elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgo Ambiental de Sitios Contaminados [55].	Esta guía propone una metodología que determina el riesgo ambiental y para la salud humana de un área contaminada, así como calificar el riesgo como aceptable o no aceptable en concordancia con la evaluación. También propone niveles de remediación y recomendaciones para disminuir el riesgo.
Perú	

Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados [56].	Este documento propone una metodología para evaluar si la contaminación representa un riesgo para la salud y el ambiente. La metodología se basa en los mismos criterios de evaluación de la US EPA.

II.1.5 Proceso de la evaluación de riesgos para la salud

La US EPA[57], establece que la HHRA consta de cuatro etapas: (a) identificación de peligros, (b) evaluación de la dosis respuesta, (c) evaluación de la exposición y (d) caracterización del riesgo.

La etapa preliminar es la planificación, alcance y establecimiento de los enfoques técnicos necesarios para realizar la evaluación, esta etapa responde a siete planteamientos que el evaluador de riesgo debe responder, los cuales se explican a continuación:

1. ¿Qué individuo, población o comunidad está en riesgo?
   Responde a la identificación de la población, para evaluar el riesgo de acuerdo con el grupo etario, subgrupos susceptibles (sujetos con enfermedades crónicas o genéticas) o altamente expuestos.
2. ¿Cuál es el peligro ambiental que debe ser evaluado?
   Los peligros ambientales que pueden ser evaluados son químicos (p. ej. metales), físicos (p. ej. radiaciones ionizantes, ruido) o biológicos (p.ej. bacterias, parásitos).
3. ¿Cuáles son las fuentes que generan estos peligros ambientales?
   Las fuentes de los peligros ambientales pueden ser antropogénicas, ya sea puntuales (p. ej. descarga de aguas industriales y domésticas) o difusas (p. ej. aguas fluviales contaminadas por el lavado de carreteras, escape de vehículos) y naturales (p. ej. erupciones volcánicas, drenajes ácidos de roca).
4. ¿Cuál es la vía y ruta de exposición a los peligros ambientales?
   Las vías que transportan los peligros ambientales de interés son aire, agua (superficial o subterránea), suelo, alimentos, productos

farmacéuticos y otros. Las rutas de exposición son ingestión, contacto dérmico e inhalación.

5. ¿Cuál es el efecto del peligro ambiental en la salud humana?
   Responde a la absorción, distribución, metabolismo y excreción del peligro ambiental.
6. ¿Cuáles son los efectos del peligro ambiental en la salud humana?
   Responde al efecto o la acción del peligro ambiental en el hombre incluyendo enfermedades cancerosas y no cancerosas.
7. ¿Cuánto tiempo tarda en causar el efecto tóxico y en qué etapa del desarrollo humano se produce la exposición del peligro ambiental?
   El efecto toxico puede derivar a intoxicaciones agudas, subcrónicas, crónicas o intermitentes. Así como, el momento crítico durante la vida del hombre (p. ej. desarrollo fetal, niñez) en el que el peligro ambiental (p. ej. sustancia química) es más tóxica.

II.1.5.1 Identificación del peligro

En esta etapa se determina si la exposición a un agente estresante puede ocasionar un incremento en la incidencia de efectos negativos en la salud (p. ej. cáncer, malformaciones, alteraciones cardiovasculares). En otras palabras, esta etapa tiene como finalidad identificar los efectos adversos que pueden ser causados por agentes químicos, físicos o biológicos, evaluando la calidad y evidencia que respalda la identificación. En el caso de agentes químicos, identifica las propiedades fisicoquímicas, recopila y revisa datos de investigaciones toxicológicas y epidemiológicas [57].

Las componentes claves para la identificación de peligros son la toxicocinética y toxicodinámica. La toxicocinética[58] estudia la absorción, distribución, metabolismo y excreción de sustancias químicas exógenas de fuentes naturales o antropogénicas; un parámetro en la toxicocinética es la concentración del tóxico en la sangre según el tiempo. La toxicodinámica[58, 59] estudia el mecanismo de acción de un agente químico en los organismos vivos, produciendo una acción toxica que puede afectar la morfología o fisiología celular.

II.1.5.2 Evaluación de la dosis-respuesta

La evaluación de la dosis respuesta tiene como finalidad evaluar la probabilidad y la gravedad de los efectos adversos para la salud que se encuentran asociadas con la concentración y las condiciones de exposición de un agente [57]. Este se deriva de un valor de referencia toxicológico para agentes contaminantes; los valores representan una estimación de una exposición sostenida a una población determinada que no cause efectos adversos durante toda su vida.

Generalmente, los contaminantes carcinogénicos no cuentan con umbral, puesto que a concentraciones muy bajas pueden producir cáncer (p. ej. aflatoxinas y arsénico), por ello, la evaluación de la dosis-respuesta es lineal; mientras que otros contaminantes si cuentan con umbral (mercurio, eugenol), por ello, la evaluación de la dosis-respuesta es no lineal [57].

La dosis-respuesta no lineal está basada en la hipótesis del umbral, esta sostiene que un organismo biológico puede tolerar un determinado rango de exposiciones sin expresar el efecto tóxico; el umbral de toxicidad es el punto en el que se expresa el efecto tóxico; la EPA de EE. UU. determina la dosis de exposición, ya sea dosis de referencia (RfD, en sus siglas en inglés) y la concentración de referencia (RfC, en sus siglas en inglés), estos son estimaciones de exposición diaria que no representan un riesgo apreciable para la población se expresan generalmente en miligramos por kilogramo de peso corporal por día (mg/kg/día). El RfD y RfC se obtienen dividiendo el punto de partida (POD, en sus siglas en inglés) como el nivel más bajo de efectos adversos observados (NOAEL, en sus siglas en inglés), nivel sin efectos adversos observados (LOAEL, en sus siglas en inglés) o el límite inferior estadístico de la dosis de referencia (BMDL, en sus siglas de inglés) entre factores de ajuste, estos dependen del criterio técnico, ya que se debe tener en cuenta las diferencias entre especies y la variabilidad intraespecífica [60, 61].

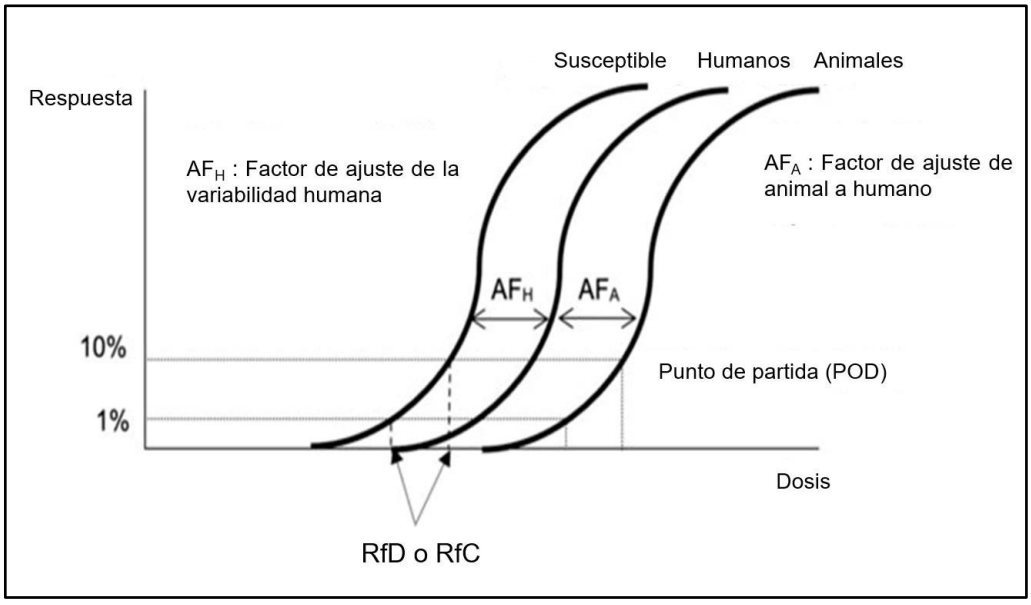


Figura 2. Representación para derivar la dosis de referencia oral (RfD) y dosis de referencia por inhalación (RfC).
Fuente: Varshavsky et al. [61]

Para dosis-respuesta lineal la toxicidad no tiene umbral; en esta evaluación no existe un grado o nivel de exposición de un agente químico que no presente alguna probabilidad mínima de generar una respuesta cancerígena. La pendiente de la recta, nombrada factor de pendiente del cáncer (SF, en sus siglas en inglés) es utilizada para determinar el riesgo carcinogénico; este modelo evalúa el riesgo de cáncer durante toda la vida [62, 63].

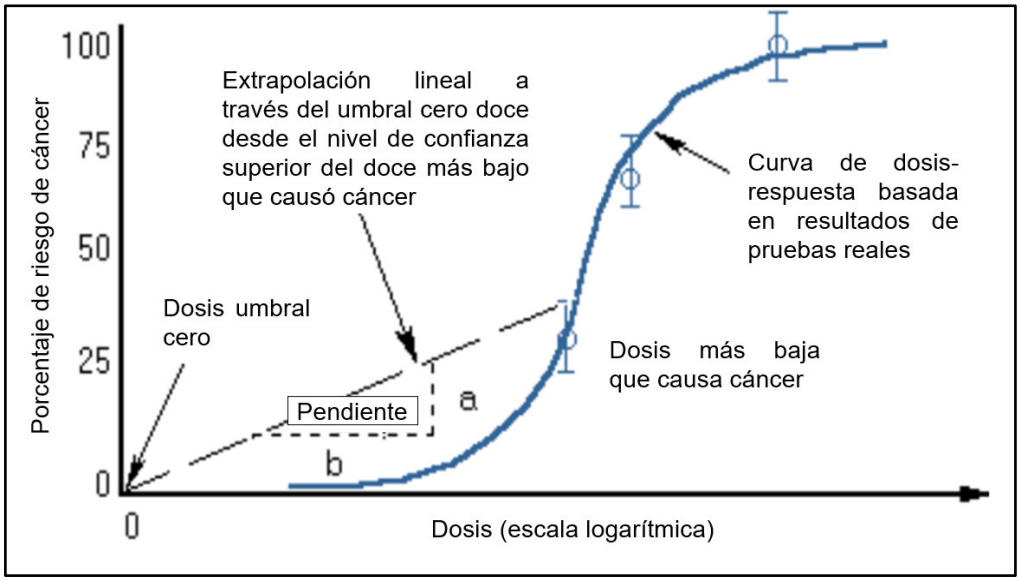


Figura 3. Modelo de etapas múltiples linealizado para inferir el riesgo de cáncer a partir de una curva dosis-respuesta empleando el factor dependiente del cáncer (SF).
Fuente: United States National Library of Medicine [63]

II.1.5.3 Evaluación de la exposición

La evaluación de la exposición determina la magnitud, frecuencia y el periodo de la exposición a una agente, tamaño y características de la población expuesta; asimismo, describe la fuente, ruta, vía y la incertidumbre, especificando el contacto tal como ocurren en el ambiente durante las etapas de la vida [38, 57].

Esta etapa responde a tres interrogantes: (a) ¿Cuál es la característica de la exposición? Estima la exposición con los datos de la exposición-respuesta para determinar el riesgo; (b) ¿Se puede reducir la exposición? Esta etapa proporciona información de los individuos expuestos, identifica la fuente, ruta y vías; (c) ¿Cambió la exposición con relación al tiempo? Realiza un seguimiento de las tendencias de la exposición durante periodos de tiempo.

Los enfoques para la evaluación de la exposición pueden ser según el diseño, ya sea por una medición (a) directa, que determina la cantidad de exposición en un tiempo determinado; (b) indirecta, basado en un modelo de exposición específica, utiliza datos de contracción de

contaminantes, tiempo, frecuencia y otros para calcular la exposición y el (c) biomonitoreo, que determina la exposición a contaminantes por medio de muestras biológicas. Otros enfoques son por evaluación de estresantes (factor único, agregada o acumulada), por enfoque de estimación (determinista y probabilístico) [38].

II.1.5.4 Caracterización del riesgo

La caracterización del riesgo es la parte integradora del proceso de evaluación de riesgos para la salud; integra y sintetiza en una conclusión completa, informativa y eficiente para los tomadores de decisiones. En otras palabras, esta etapa transmite el criterio del evaluador en cuanto a la naturaleza, presencia o ausencia de riesgo consolidando la metodología y los resultados de la evaluación.

La caracterización del riesgo debe de cumplir con los principios de transparencia, claridad, coherencia y razonabilidad. La transparencia asegura que cualquier individuo entienda el procedimiento, lógica, conceptos, limitaciones, decisiones en la evaluación y justificación; la claridad garantiza que el producto sea conciso y comprensible; la coherencia garantiza que la evaluación se realice y presente de forma armónica siguiendo los estatutos y directrices aprobadas. Finalmente, la razonabilidad detalla que la evaluación debe basarse en el buen juicio con metodología y estimaciones consistentes basados en ciencia [44].

II.1.6 Drenaje de roca

Los drenajes de roca son generados por la oxidación natural de minerales cuando se encuentran expuestos a condiciones bióticas (bacterias) y abióticas (agua y aire), el producto de este proceso de oxidación puede ser ácido a neutro, con la presencia o no de metales disueltos y concentración de sulfatos. Los drenajes de roca se clasifican de acuerdo con el potencial de hidrógeno (pH) son [64, 65] : (a) Drenaje ácido de roca (DAR) se distingue por tener pH ácido y alta concentración de metales y $SO_4^{=}$. Los depósitos de yacimientos minerales asociados a DAR podrían ser como: sulfuros masivo volcánico, pórfido cuprífero, skarn y epitermales de alta saturación, entre los principales. (b) Drenaje salino de roca (DSR) se caracteriza por presentar pH que oscila

entre neutro y alcalino, con bajas concentraciones de metales; sin embargo, puede contener moderada concentración de magnesio y calcio y elevada concentración de sulfatos. Los depósitos de yacimientos minerales asociados a DSR podrían ser los Mississippi-Valley, vetas de cuarzo y oro con baja concentración de sulfuros y skarn. (c) Drenaje neutro de roca (DNR) tiene un pH neutro a alcalino, presenta moderada concentración de metales, puede tener niveles elevados de zinc, cadmio, manganeso, arsénico o selenio y sulfatos a bajas o moderada concentración; los depósitos de yacimientos minerales asociados podrían ser los mismos en DSR y DAR.

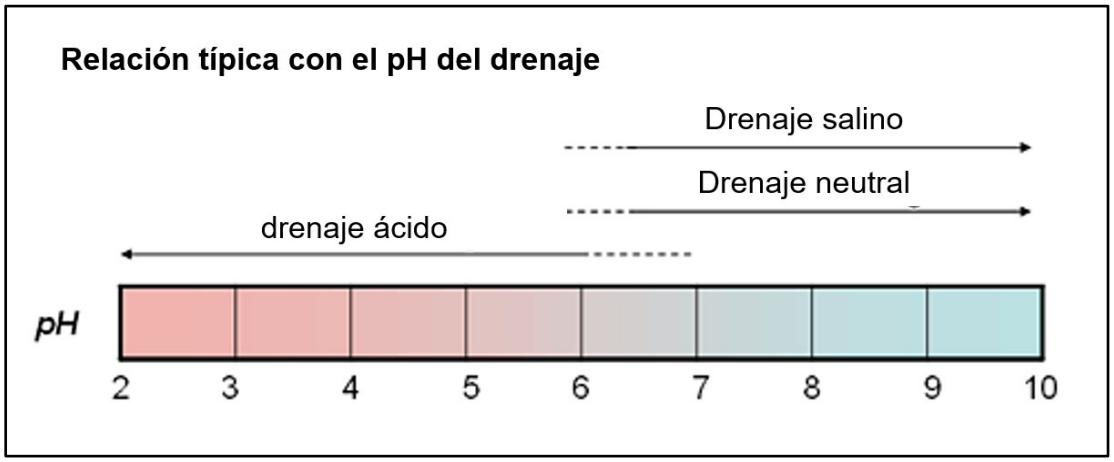


Figura 4. Tipos de drenaje producido por oxidación de sulfuro.
Fuente: International Network for Acid Prevention, INAP [65]

II.1.6.1 Drenaje ácido de roca

El drenaje ácido de roca (DAR) hace referencia a la acidificación del agua, producto de la oxidación y lixiviación de rocas con contenido de sulfuros cuando son expuestas al oxígeno y agua, caracterizada por tener alta concentración de sulfatos, metales y pH ácido (pH<4). El desarrollo del DAR involucra procesos de oxidación química y biológica dependientes del tiempo, esto debido a que el agua disminuirá gradualmente su pH[11, 64, 65].

Los minerales que conforman los "sulfuros" los cuales producir DAR son pirita (FeS_2), pirrotita ($Fe_{1-x}S$), calcopirita ($CuFeS_2$), bornita (Cu_5FeS_4), arsenopirita (FeAsS), enargita (Cu_3AsS_4), famatinita (Cu_3SbS_4), esfalerita (ZnS), galena (PbS), millerita (NiS) entre otros [66].

Treskow [12] menciona que “el drenaje ácido, sea natural o asociado a actividades mineras, se debe a la oxidación y lixiviación de sulfuros […] genera pH ácido y, elevadas concentraciones de metales en agua”. Los DAR se encuentran en todo el mundo, estos como procesos naturales o antropogénicos vinculados con perturbaciones del suelo.

II.1.6.2 Evolución de los drenajes ácido de roca

La formación de los DAR es un proceso dependiente del tiempo y se caracteriza por las reacciones de oxidación, existen tres etapas marcadas para la formación de drenajes ácidos[64, 65], las cuales se explica a continuación:

a) Etapa I. Constituida principalmente por reacciones de neutralización, cuando las rocas con sulfuros son oxidadas producen acidez, las cuales reaccionan con minerales alcalinos, neutralizando la acidez y precipitando el hierro como hidróxido.

   El oxígeno y agua son los principales oxidantes de la roca con sulfuros, produciendo acidez y sulfatos, el cual es neutralizado por minerales carbonatados tales como la calcita ($CaCO_3$), esta agua que fluye por las rocas probablemente pueda tener altas concentraciones de calcio y magnesio (depende del mineral carbonatado).

   La oxidación de la roca con sulfuros libera hierro ferroso (Fe^{2+}) y su oxidación es acelerada a pH alcalino, dando como resultado en hierro férrico (Fe^{3+}) que precipita como hidróxido. En esta etapa, el agua del drenaje tiene la característica de tener pH cercano a 7 y alta concentración de sulfato.

b) Etapa II. Esta etapa inicia cuando los niveles de minerales carbonatados comienzan a agotarse o se vuelven inaccesibles, por ello, progresivamente el pH del agua llega hasta 4.5, acelerando la reacción de oxidación química y biológica. En esta etapa el pH del drenaje se encuentra cercano a cero, con elevada concentración de Fe^{2+} y $SO_4^{=}$.

c) Etapa III. Inicia progresivamente cuando los minerales alcalinos se agotan o cuando se produce mayor acidez que alcalinidad, en

consecuencia, el pH se vuelve ácido. Las reacciones de oxidación en la roca con sulfuros producen hierro ferroso (Fe^{2+}), el cual se oxida biológicamente a hierro férrico (Fe^{3+}), este último reemplaza al oxígeno como oxidante. En esta etapa el agua del drenaje tiene la característica de ser ácida, tener altas concentraciones de metales, sulfatos y el hierro se presenta como ferroso y férrico.

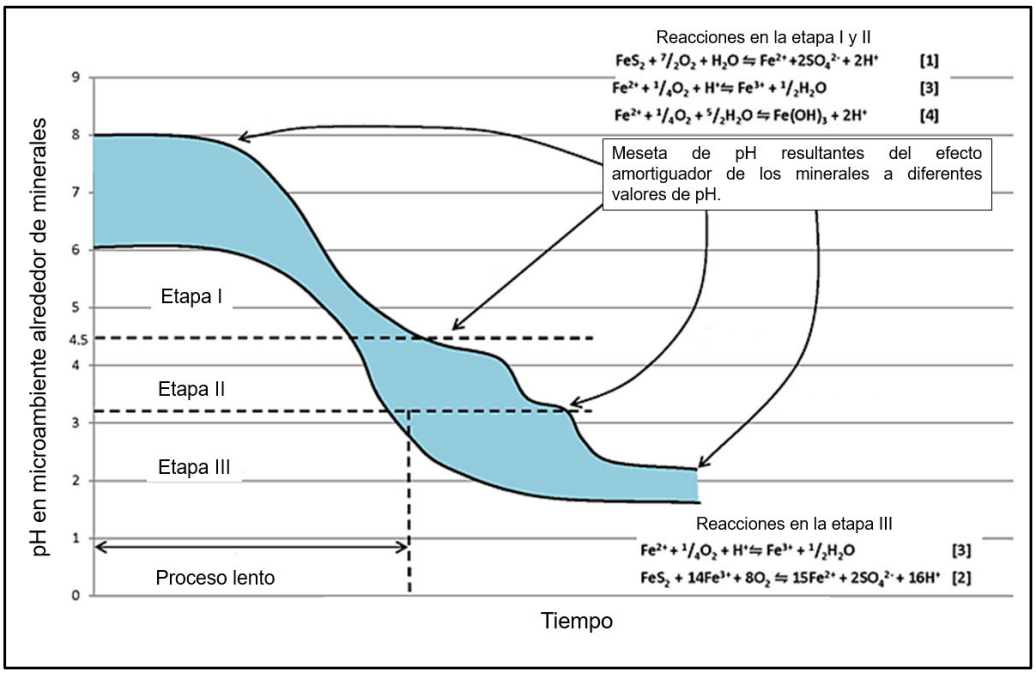


Figura 5. Etapas de formación de drenajes ácido de roca.
Fuente: International Network for Acid Prevention, INAP [65]

II.1.6.3 Origen de los drenajes ácido de roca

La generación de los hidrogeniones (H^+), iones metálicos (M^+) e iones sulfatos (SO_4^{2-}) a partir de rocas es debido a la oxidación biótica o abiótica de minerales sulfurosos, esto es un proceso cinético químico que depende de las características del mineral de sulfurado. La pirita (FeS_2) es un mineral muy estudiado y es uno de los más abundantes. Ibañez [67] menciona que las rocas consideradas como fuente de DAR son las rocas con azufre, como la pirita. A continuación, se explica con ecuaciones químicas el origen de los DAR [8, 11, 65, 66, 67].

El origen de los DAR inicia con la reacción del sulfuro con el oxígeno para formar sulfatos (SO_4^{2-}), ion ferroso (Fe^{2+}) e hidrogeniones (H^+).

Ecuación 1. $FeS_2 + \frac{7}{2}O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2(SO_4)^{=} + 2H^+$

Seguidamente el ion ferroso (Fe^{2+}) reacciona con el oxígeno (O_2) y forma hierro férrico (Fe^{3+}). La oxidación de Fe^{2+} es lenta a valores de pH bajos.

Ecuación 2. $Fe^{2+} + \frac{1}{4}O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{3+} + \frac{1}{2}H_2O$

La reacción puede incrementar con la acción microbiana, por ejemplo, a pH 3.5 a 4.5 la oxidación del hierro es catalizada por *Metallogenium filamentous*. Mientras que a pH menor a 3.5 por la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans*.

Ecuación 3. $FeS_2 + 14\,Fe^{3+} + 8H_2O \rightarrow 15\,Fe^{2+} + 2(SO_4)^{2+} + 16H^+$

Seguidamente, si el pH es menor a 2, el producto de hidrólisis férrica como $Fe(OH)_3$ son inestables y el Fe^{3+} se encuentra en solución. El $Fe(OH)_3$ es tóxico para el ecosistema acuático.

Ecuación 4. $Fe^{3+} + 3H_2O + H^+ \leftrightarrow Fe(OH)_3 + 3H^+$

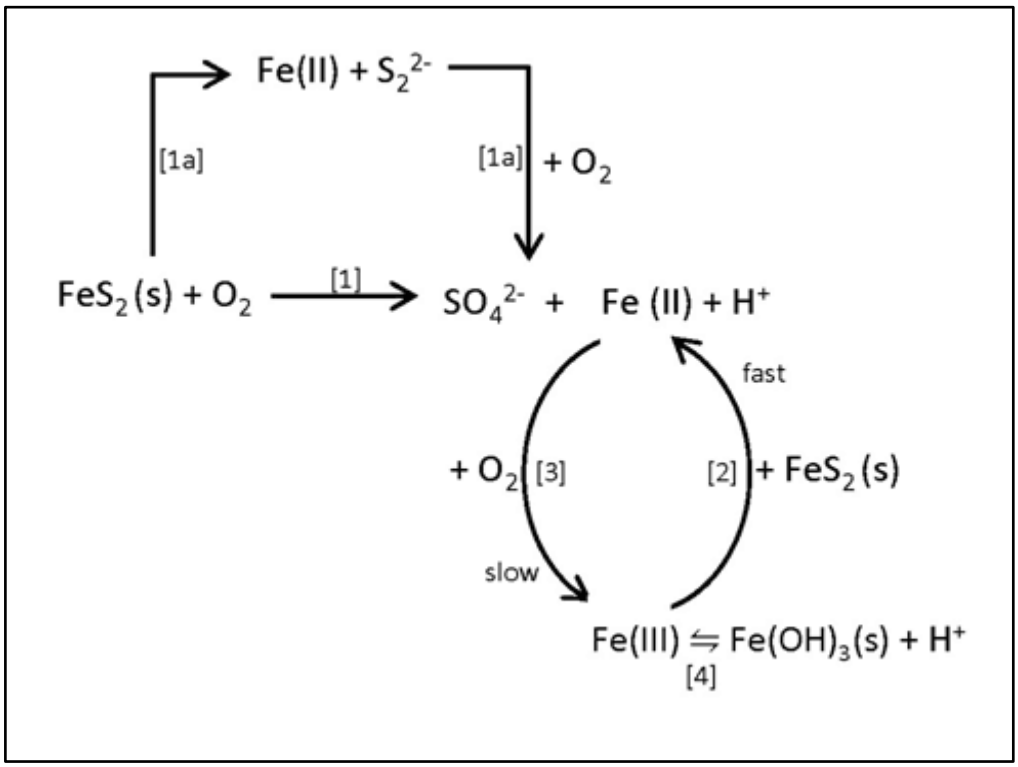


Figura 6. Modelo de oxidación de pirita.

Fuente: International Network for Acid Prevention, INAP [65]

II.1.6.4 Sulfuros

Los minerales de sulfuro son un grupo de minerales que tiene como componente químico principal al azufre. En este grupo también se integran los sulfoarseniuros, arseniuros y telururos. La mayoría de los sulfuros son opacos y tienen colores característicos. Los sulfuros tienen la siguiente fórmula general X_mZ_n , donde X = elemento metálico y Z = elemento no metálico. Estos minerales se forman a través de procesos geológicos naturales que involucran fluidos hidrotermales, magmáticos y sedimentarios. Algunos ejemplos de sulfuros son pirita (FeS_2), calcopirita ($CuFeS_2$), galena (PbS), marcasita (FeS_2), rejalgar (AsS), esfalerita (ZnS), entre otros [68].

II.1.7 Metales y metaloides

La RAE [69] define a los metales como "cada uno de los elementos químicos buenos conductores del calor y de la electricidad, con un brillo característico, sólidos a temperatura ordinaria, salvo el mercurio, y que en sus sales en disolución forman iones electropositivos o cationes"

Los metaloides son semimetales, se comportan como no metales cuando reaccionan con metales, y metales cuando reaccionan con no metales (Cl, Br, F, I, entre otros). Estos se ubican en una línea diagonal que divide a los metales y no metales de la tabla periódica, los cuales son el B, Si, Ge, As, Sb y Te[70].

II.1.8 Cuenca hidrográfica

Es un área geográfica, donde el agua fluye por las partes topográficas bajas por medio de un sistema de descargas, concentrándose en un colector de descarga a otras cuencas cercanas o al océano. Vásquez et al. [71] desde la perspectiva hidrológica, define a la cuenca hidrográfica como "el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (*Divortium Aquarum*), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común [..]"

Otras definiciones sugieren que las cuencas hidrográficas es un área geográfica delimitada por parteaguas en el que se concentran los escurrimientos, confluyendo y desembocando en un cuerpo de agua;

endorreica cuando desemboca en un lago y exorreica cuando desemboca al mar. Las cuencas hidrográficas son un sistema complejo y abierto donde ocurre el ciclo del agua y elementos tales como los sociales, naturales, ambientales, económicos y políticos se encuentran relacionados a través del tiempo [72,73].

En el Perú, existen 159 cuencas hidrográficas. La vertiente del Pacífico cuenca con 62 cuencas hidrográficas con una disponibilidad hídrica del 2.18%; en la vertiente del Amazonas con 84 cuencas con disponibilidad hídrica del 97.26% y la vertiente del Titicaca con 13 cuencas y disponibilidad hídrica del 0.56%. Las áreas de referencia para las unidades hidrográficas son las siguientes: (a) Cuenca, tiene una extensión mayor a 50 mil hectáreas, la (b) Subcuenca, tiene una extensión geográfica ente 5 a 50 mil hectáreas y una (c) Microcuenca, menor a 5 mil hectáreas [71,72].

II.1.9 Agua superficial

La US EPA [26] define al agua superficial como "Toda el agua naturalmente abierta a la atmósfera (ríos, lagos, embalses, estanques, arroyos, mares, estuarios, etc.)"

Las aguas superficiales continentales se encuentran inmóviles o móviles en la superficie del suelo, estas generalmente provienen de precipitaciones o derretimiento de glaciares en cuencas hidrográficas; estas se dividen en aguas loticas, las cuales siempre se encuentran en movimiento tales como los ríos, manantiales, arroyos, etc. y aguas lénticas las cuales se encuentran estancadas como las lagunas, bofedales, lagos, etc. [74, 75].

II.1.10 Contaminación ambiental

La contaminación es definida como la incorporación de sustancias nocivas para el hombre y seres vivos. Los contaminantes pueden ser sólidos, líquidos o gases nocivos y en concentraciones superiores a las habituales reducen la calidad del medio ambiente[76]. Asimismo, el MINAM [25] menciona que la contaminación es la "distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua o suelo) donde pueden ocasionar efectos ambientales o sobre la salud". La US EPA [26] define a la contaminación como "la introducción de microorganismos, sustancias

químicas, sustancias tóxicas, desperdicios, o aguas negras en el agua, el aire o el suelo, en tal concentración que el medio no es apto para su uso […] la presencia de una sustancia en el ambiente que, debido a su cantidad o composición química, prohíbe el funcionamiento de procesos naturales y produce efectos indeseables para la salud y el medio ambiente".

La contaminación ambiental es la presencia de cualquier agente (químico, físico o biológico) que sean nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar social y ecosistémico [25]. Poonam et al. [77] definen a la contaminación ambiental como la disposición injustificada de masa o energía en los recursos naturales como el agua, aire o tierra, y deteriora a largo o corto plazo el medio ambiente y en consecuencia puede impactar negativamente a los seres vivos cuantitativa y cualitativamente. Asimismo, los contaminantes pueden producir daños primarios que pueden monitorearse y cuantificarse a corto plazo, por otro lado, el daño secundario, ocurre con la perturbación del equilibrio de la pirámide de la red alimentaria a largo plazo. La contaminación ambiental tiene dos orígenes; la natural, producida por fenómenos naturales (lixiviación natural de rocas) y antropogénica, producto de las actividades del hombre (quema de combustibles fósiles).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

III.1 Hipótesis

III.1.1 Hipótesis general

Existe riesgo para la salud humana debido a la exposición por metales en agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash.

III.1.2 Hipótesis específicas

1. El agua superficial de la subcuenca del río Negro se encuentra contaminada con metales, sobrepasando los estándares de calidad ambiental del agua.
2. El índice de contaminación por metales pesados en la subcuenca del río Negro tiene contaminación alta.
3. Las altas concentraciones de metales en agua superficial de la subcuenca del río Negro es originada por el discurrimiento de drenajes ácido de roca producto de la lixiviación natural de rocas con sulfuros en la cabecera de cuenca.
4. Las aguas superficiales contaminadas por metales de la subcuenca del río Negro representa un alto riesgo para la salud humana.
5. La distribución geoespacial del índice de contaminación por metales pesados y el riesgo para la salud humana es mayor en las cabeceras de cuenca y disminuye aguas abajo producto de la dilución.

III.2 Variables

1. Variable dependiente: Concentración de metales
2. Variable independiente: Contaminación ambiental del agua y riesgo para la salud humana.

III.3 Operacionalización de variables

Tabla 2. Operacionalización de variables.

VARIABLE		TIPO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
Variable independiente	Concentración de metales	Cuantitativa	Magnitud que expresa la cantidad de una sustancia por unidad de volumen, y cuya unidad en el sistema internacional es el mol por metro cúbico (mol/m^3) de metales [69].	Medición que expresa la concentración de un parámetro en una determinada muestra.	Concentración de metales en agua superficial.	Cantidad de microgramos de metal en un litro de agua superficial.	µg/L , mg/L
Variables dependientes	Contaminación ambiental del agua	Cuantitativa	La contaminación ambiental del agua es la presencia de materiales dañinos o inaceptables en el agua en suficiente cantidad como para arruinar la calidad del agua[25, 26].	Calculo operacional del grado de contaminación del agua por los metales disueltos en agua.	Contaminación del agua superficial.	Índice de contaminación por metales pesados (HPI) [78, 79]	Contaminación baja (HPI<90) Contaminación media (90≤HPI<150) Contaminación alta (HPI≥150)

Variables dependientes	Riesgo para la salud	Cuantitativa	Probabilidad de que una determinada exposición o serie de exposiciones puede haber dañado o dañará la salud de las personas [26].	Medición que expresa el riesgo de desarrollar enfermedades cancerosas y no cancerosas.	Riesgo carcinogénico (CR) en niños y adultos.	Índice de riesgo carcinogénico [80]	Nivel insignificante de cáncer ($CR<10^{-6}$) Nivel aceptable de cáncer ($10^{-6}\leq CR<10^{-4}$) Riesgo de cáncer ($CR\geq10^{-4}$)
					Riesgo no carcinogénico (HI) en niños y adultos.	Índice de riesgo no carcinogénico [80]	Existe riesgo no carcinogénico ($HI\geq1$) No existe riesgo no carcinogénico ($HI<1$)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1 Área de estudio y coordenadas

La subcuenca del río Negro se ubica aproximadamente a 20 Km al sur de la ciudad de Huaraz; mide aproximadamente 20 Km de este a oeste y 8 Km de norte a sur (9° 38' 40 S; 77° 23' 12 W, punto medio). Las altitudes varían de 3300 y 5752 msnm. El río principal de la subcuenca es el río Olleros, el cual tributa al río Santa, perteneciente a la cuenca del río Santa de la vertiente hidrográfica del Pacífico [81].

Tabla 3. Características generales de la subcuenca del río Negro.

Características	Descripción	
Nombre de la subcuenca	Río Negro [a]	
Vertiente Hidrográfica	Pacífico [a]	
Demarcación Geográfica	Latitud Sur: 9° 38' 40" [b] Longitud Oeste: 77° 23' 12" [b]	
Límites hidrográficos	Norte: Subcuenca del río Jauna [a]	Sur: Subcuenca del río Yanayacu y Subcuenca del río Urpay [a]
	Este: Cuenca Alto Marañón [b]	Oeste: -
Jurisdicción (Autoridad Administrativa del Agua – AAA / Autoridad Local del Agua - ALA)	AAA	Huarmey - Chicama [a]
	ALA	Santa – Lacramarca – Nepeña, Huaraz y Santiago de Chuco [a]
Superficie (Km^2)	179.9550 Km^2 [a]	
Río principal	Río Olleros [a]	
Longitud del río principal	6.3196 Km [c]	
Altitud máxima	5722 msnm (Nevado de Uruashraju)	
Lagunas y ríos Tributarios	Lagunas: Tarahua, Huansan, Collotacocha, Toroccocha, Huichicocha, Llactacocha y Huamash [c] Ríos: Negro y Olleros [c] Quebradas: Quilloc, Pumahuaganga, Araranca, Uquian, Otuto, Rurec, Puyhuan, Huaracayoc [c]	
Nevados	Shacsha, Cashan, Rurec, Uruashraju, Pumahuacanca, Tuctupunta, Tuctu y Yanamarey [c]	
Población	2496 habitantes [d]	
Principales usos	Agrícola, ganadero, recreacional y otros [a]	

a: Autoridad Nacional del Agua [16, 17, 18]

b: Zimmer et al. [81]

c: Ministerio de Educación [82]

d: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) [83]

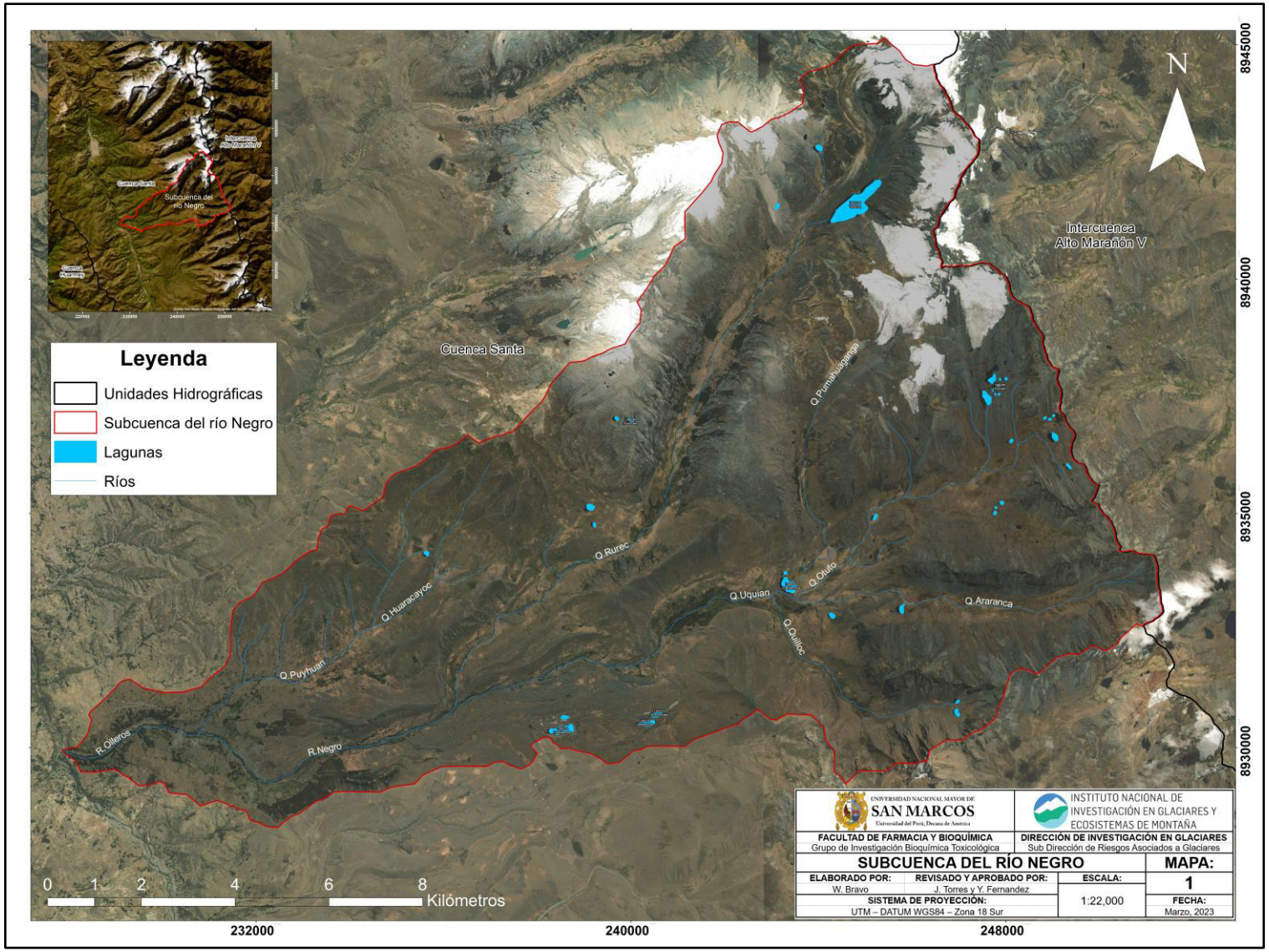


Figura 7. Mapa de la subcuenca del río Negro.

IV.2 Tipo de estudio

Estudio es descriptivo con diseño no experimental, transversal [84].

IV.3 Población y muestra

IV.3.1 Población de estudio

La población de estudio estuvo conformada por el agua superficial de la subcuenca del río Negro.

IV.3.2 Muestra y muestreo

El muestreo de agua superficial de la subcuenca del río Negro fue no probabilístico por conveniencia, siguiendo estrictamente los lineamientos y criterios del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales de la Autoridad Nacional del Agua R.J. N° 010-2016-ANA) [85].

IV.4 Procedimientos e instrumentos de recolección de información

IV.4.1 Muestreo de agua superficial

IV.4.1.1 Contexto geográfico

La selección de puntos de muestreo se realizó en gabinete. En tal sentido, se elaboró la cartografía hidrográfica de la subcuenca del río Negro (figura 7). Asimismo, la recopilación e incorporación de la información obtenida se realizó utilizando sistemas de información geográfica, ArcGIS 10.8. El contexto geográfico del muestreo es una subcuenca; por ello, se realizó la delimitación geográfica, ubicación de infraestructuras hidráulicas, delimitación de áreas naturales protegidas, pasivos mineros e hidrocarburíferos, centros poblados, urbanos y red vial; así como de fuentes contaminantes puntuales y difusa**.** Durante la época de estiaje, el agua superficial de la subcuenca del río Negro se origina a partir de la desglaciación de la cobertura glaciar. Este proceso tiene lugar específicamente en la cabecera de cuenca glaciar, donde el agua discurre acumulándose en las lagunas Tarahua, Huansan y Huamash o discurre directamente por las quebradas, tributando al río Olleros [82].

Infraestructuras hidráulicas

La subcuenca del río Negro tiene once (11) bocatomas, setenta y dos (72) canales laterales y cinco (05) canales de derivación [86].

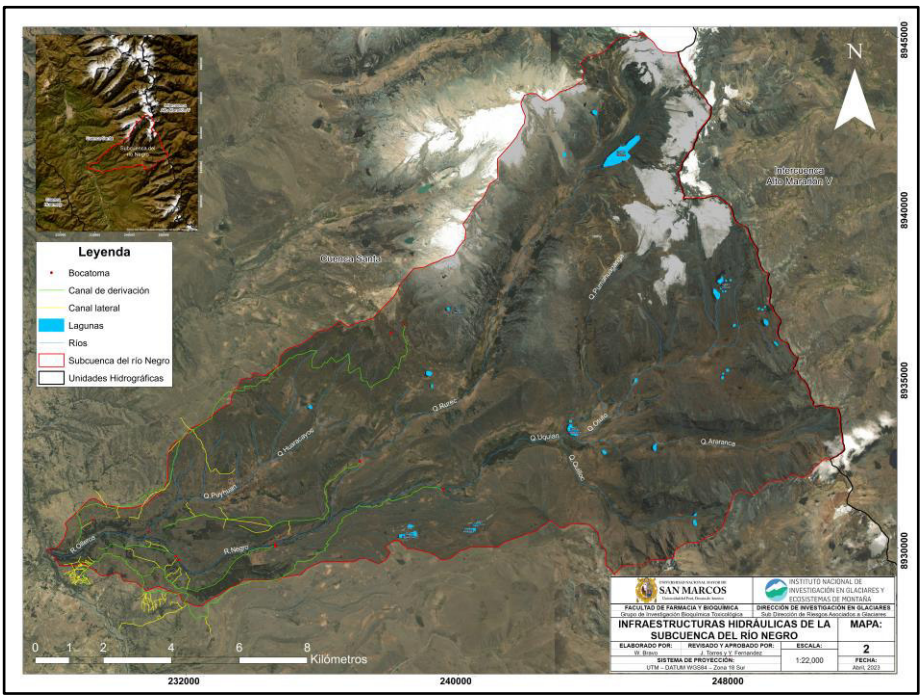


Figura 8. Mapa de infraestructuras hidráulicas de la subcuenca del río Negro.

Áreas naturales protegidas

El área de estudio tiene una fracción del área natural protegida denominada Parque Nacional de Huascarán[87].

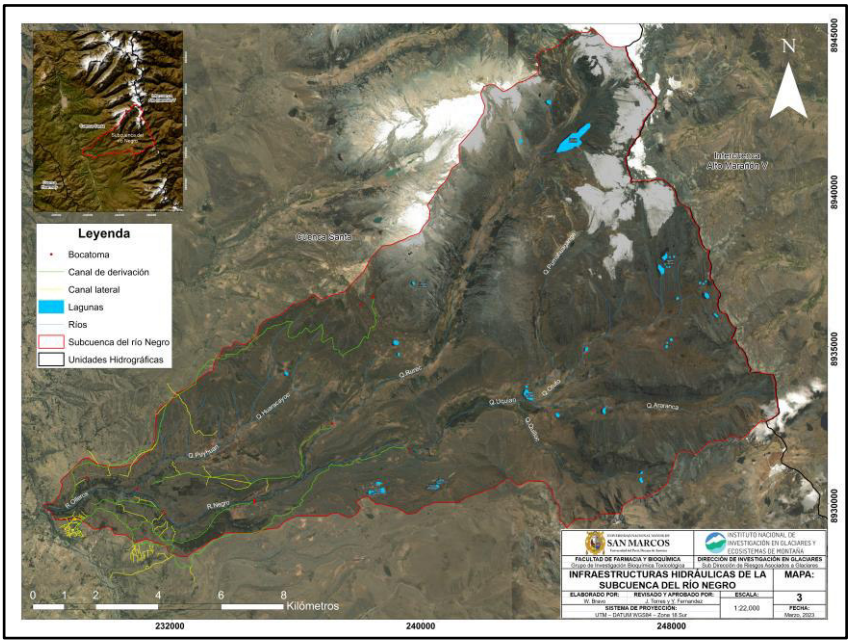


Figura 9. Mapa de áreas naturales protegidas de la subcuenca del río Negro.

Pasivos ambientales mineros y/o hidrocarburíferos

En la subcuenca del río Negro no existe pasivos ambientales mineros de acuerdo con el inventario de pasivos ambientales mineros (R.M. N° 335-2022-MINEM/DM) [88]. Asimismo, no existe pasivos ambientales hidrocarburíferos de acuerdo con el inventario de pasivos ambientales del subsector hidrocarburos (R.M. N° 038-2022-MINEM/DM) [89]

Centros poblados, urbanos y red vial

El distrito de Olleros tiene dos (02) centros poblados urbanos llamados Huaripampa y Olleros; asimismo, tiene treinta (30) centros poblados rurales, los más importantes son los siguientes: Huaracayoc, Tinco, Conasha, Tuc Tuc, Rurec, Arapa, Condorcocha, Canrey Grande, Cochan, Puyhuan, Mashra Oqu y Tamraran [90]. Además, el distrito de Olleros tiene dos comunidades campesinas de origen quechua llamadas Canray Grande y Wiracocha con una población de 1 930 comuneros[91]. El distrito de Olleros tiene vías vecinales que se extienden hasta el sector Cotucancha y Tambo[92]

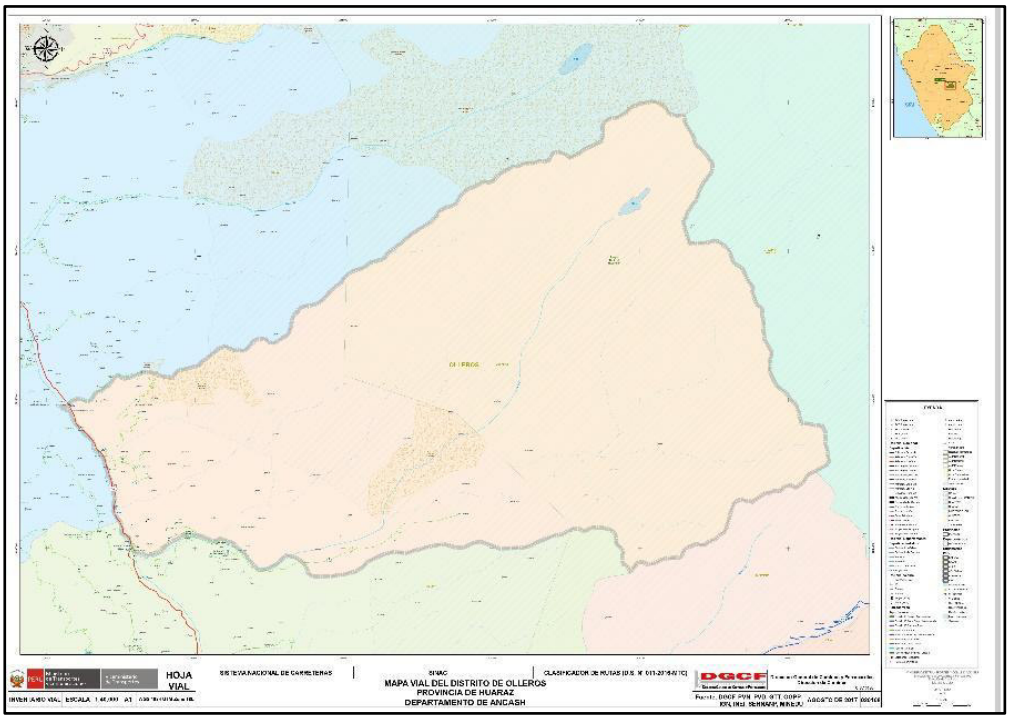


Figura 10. Mapa vial del distrito de Olleros, provincia de Huaraz, departamento de Áncash.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones[92]

Fuentes de contaminantes puntuales y difusas

El Sistema de Información de Obras Públicas[93] reportó diecinueve (19) proyectos, entre ellos nueve (09) se encuentran finalizados, siete (07) en ejecución y cinco (05) sin ejecución. Se identificó dos (02) proyectos de inversión que probablemente produzcan efluentes contaminantes producto de las actividades de construcción y operación al recurso hídrico superficial de la subcuenca del río Negro.

El primero denominado "Construcción y mejoramiento del sistema de riego Rurek, distrito de Olleros – Huaraz – Ancash con código SNIP 34637 ejecutado por el Gobierno Regional de Áncash con un avance de 58.77%"[94]; el segundo denominado "Construcción de captación de agua; en el (la) recarga hídrica en los distritos de Recuay, Yungar y Carhuaz – Áncash para 02 unidades productoras de los sistemas de riego, mejoramiento de la captación y canal de riego Guadalupito – Virú – La Libertad y canal San Miguel, distrito de Caraz, provincia Huaylas, departamento de Áncash con código SNIP 34637 ejecutado por el Fondo Sierra Azul del Ministerio de Desarrollo Agrario y riego con un avance del 0%" [95].

IV.4.1.2 Establecimiento y codificación de los puntos de muestreo

Las directrices para la ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial fueron los siguientes:

- Ubicados en la cabecera de cuenca, naciente de ríos o quebradas.
- Aguas arriba de la confluencia de cuerpos de aguas laterales o trasvases y en el río principal.
- Puntos de muestreo antes y después de fuentes contaminantes o difusas.
- Puntos ubicados en la salida de embalses y lagunas.
- En áreas densamente pobladas y en áreas naturales protegidas.

Para determinar la ubicación de los puntos de muestreo se empleó el sistema de posicionamiento global (GPS navegador) y se registraron las coordenadas geográficas en el sistema UTM, estándar geodésico WGS 1984 Zona18S.

La codificación de los puntos de muestreo se realizó utilizando el siguiente formato: [Sigla del cuerpo de agua] [Sigla del cuerpo de agua] [Numeración continua].

- Las siglas utilizadas para representar los diferentes cuerpos de agua de agua fueron las siguientes; R: río, Q: quebrada y L: laguna.
- Las siglas asignadas a los cuerpos de agua consistieron en las primeras cuatro (04) letras, la primera en mayúscula, iniciales del nombre del cuerpo de agua. Para los nombres compuestos, se utilizó las dos (02) primeras letras en mayúscula del recurso hídrico, seguido de dos (02) restantes en minúscula.
- La numeración continua fue asignada en orden creciente, en dirección de la cabecera de cuenca al río principal.

IV.4.1.3 Red de puntos de muestreo

La red de puntos estuvo conformada por veintiún (21) puntos de muestreo, considerando el contexto geográfico de la zona.

Tabla 4. Red de puntos de muestreo de la subcuenca del río Negro.

N°	Codificación	UTM DATUM WGS84 Zona 18 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
1	LTara1	245 243	8 942 131
2	LTara2	244 828	8 941 875
3	LTara3	244 229	8 941 296
4	QArar	244 414	8 933 087
5	QOtut	244 656	8 934 156
6	QPuma	244 170	8 934 256
7	QPuyh	232 379	8 931 485
8	QQuil	243 379	8 932 247
9	QRure1	243 651	8 941 354
10	QRure2	237 859	8 933 083
11	QRure3	237 103	8 932 733
12	QSNom1	240 121	8 934 861

13	QSNom2	238 232	8 933 822
14	QSNom3	247 597	8 936 268
15	QSNom4	247 499	8 935 950
16	QSNom5	246 729	8 935 602
17	QSNom6	246 077	8 935 309
18	QSNom7	245 736	8 935 344
19	QUqui	240 266	8 931 815
20	RNegr	233 102	8 929 794
21	ROlle	229 715	8 930 436

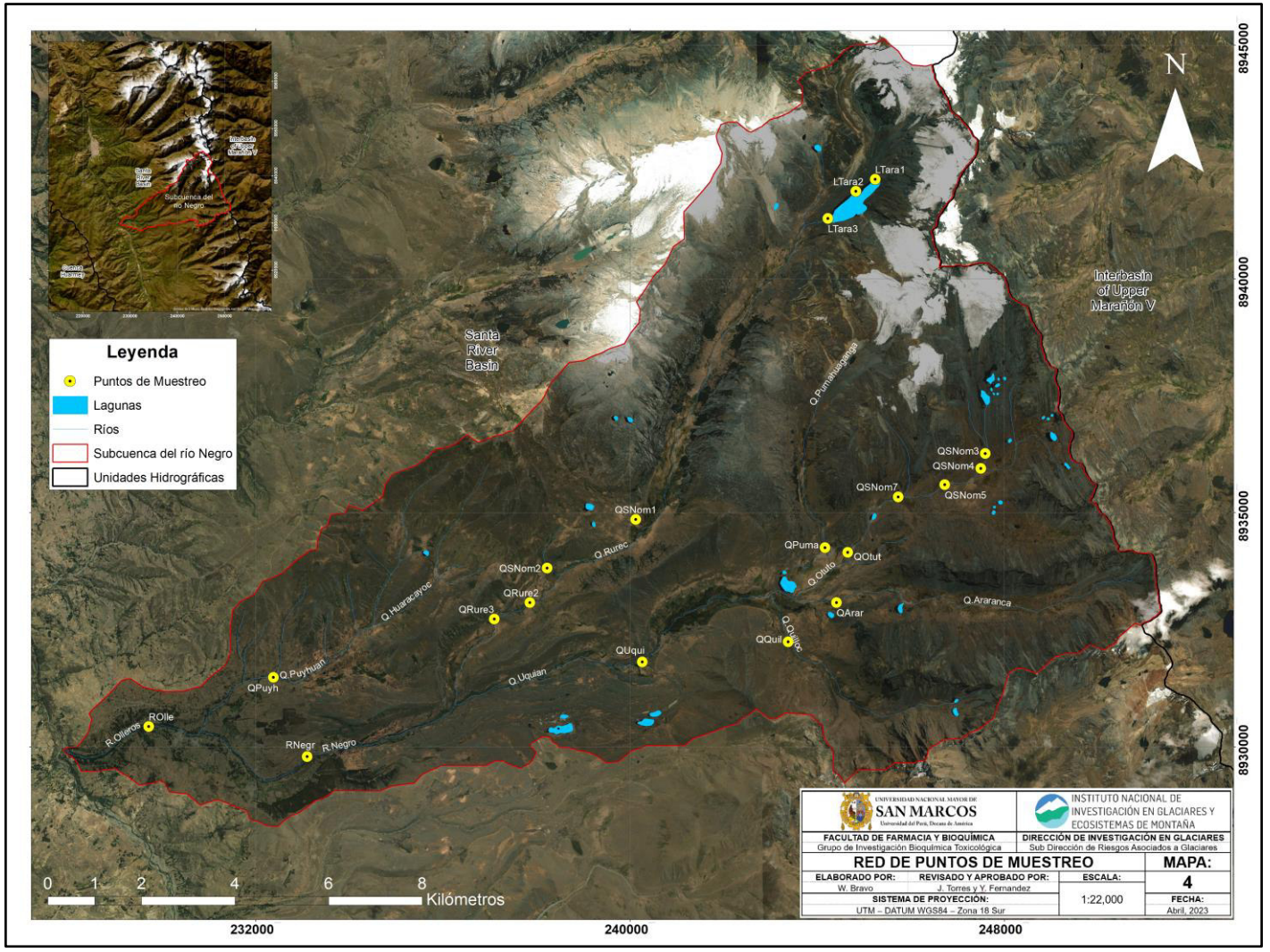


Figura 11. Mapa de la red de puntos de muestreo.

IV.4.1.4 Parámetros

Los parámetros evaluados fueron seleccionados de acuerdo con las características fisicoquímicas del drenaje ácido de rosa.

Tabla 5. Parámetros evaluados.

Parámetros	
In situ	Potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (mg/LDO), conductividad eléctrica (µS/cm), sólidos totales disueltos (ppm TDS), salinidad (PSU) y temperatura (°C).
Aniones	Fluoruro (F^-), cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-})
Metales Totales	Sodio (Na), magnesio (Mg), potasio (K), calcio (Ca), silicio (SiO_2), hierro (Fe), azufre (S), estroncio (Sr), litio (Li), plata (Ag), arsénico (As), boro (B), bario (Ba), berilio (Be), bismuto (Bi), cadmio (Cd), cesio (Ce), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), lantano (La), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plomo (Pb), antimonio (Sb), selenio (Se), estaño (Sn), torio (Th), titanio (Ti), talio (Tl), uranio (U), vanadio (V), tungsteno (W), itrio (Y) y zinc (Zn).

IV.4.1.5 Materiales, reactivos, equipos, formatos e indumentaria de protección

Materiales

- 1 cooler de 30 litros
- 30 frascos de tereftalato de polietileno (PFA) de 250 mL
- 30 frascos de polietileno de alta densidad (PE-HD) de 250 mL
- 1 caja de guantes de látex estériles
- 1 pipeta de 5 mL
- 1 propipeta
- 10 gel pack refrigerante
- 1 piseta

Material cartográfico

- Mapa de la subcuenca del río Negro (figura 7)

- Mapa de la red de puntos de muestreo (figura 11)

Reactivos y soluciones

- 1 galón de agua desionizada
- 75 mL de ácido nítrico concentrado ($HNO_{3(cc)}$)

Equipos

- Multiparámetro Hanna HI98194
- GPS Garmin Etrex Touch 35
- Cámara fotográfica profesional

Formatos

- Anexo B : Registro de identificación del punto de muestreo.
- Anexo C: Registro de datos de campo.
- Anexo D: Etiqueta para la muestra de agua.
- Anexo E: Cadena de custodia.

Indumentaria de protección

- Botas de jebe
- Chaleco

IV.4.1.6 Procedimiento de recolección de muestra

Preparación de blancos

La preparación de los blancos de transporte (BT) y blancos de campo (BC) fue en un ambiente estéril, los frascos fueron lavados con agua desionizada. Estos blancos tuvieron la finalidad de evaluar la contaminación durante el muestreo y el transporte.

En dos (02) frascos de plástico de PFA o PE-HD de 250 mL se añadió agua desionizada hasta el 99% de su capacidad, posteriormente se añadió 1 mL de ácido nítrico concentrado $HNO_{3(cc)}$, seguidamente fueron etiquetados como BT y BC, estos blancos corresponden a los parámetros de metales totales. Asimismo, en dos (02) frascos de plástico de PFA o PE-HD de 250 mL, se añadió agua desionizada hasta su máxima capacidad y fueron almacenados en un cooler a 6 °C seguidamente etiquetados como BT y BC, estos blancos corresponden al parámetro sulfato, cloruro y fluoruro.

Registro del punto de muestreo

En el Anexo B se detalló el nombre del cuerpo del agua, la clasificación, la descripción, accesibilidad, representatividad, finalidad

del muestreo, reconocimiento del entorno, fecha, hora y ubicación geográfica del punto de muestreo.

Medición de los parámetros *in situ*

Los parámetros *in situ* medidos fueron el potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (mg/LDO), conductividad eléctrica (µS/cm), sólidos totales disueltos (ppm TDS), salinidad (PSU) y temperatura (°C), los cuales fueron medidas directamente al cuerpo de agua. Los resultados fueron registrados en el anexo C, se realizaron un total de cinco (05) mediciones por mismo punto de muestreo con el multiparámetro marca Hanna HI98194 calibrado, lavado antes y después de cada medición. El fundamento de medición de cada parámetro se detalla a continuación:

Tabla 6. Fundamento de la medición de parámetros del multiparámetro Hanna HI98194.

Parámetro	Sensor	Fundamento
Potencial de hidrógeno (pH)	El HI7698194-0 es un sensor de pH, compuesto por polieterimida con diseño de doble unión de cerámica. La punta de detección es de vidrio con un electrodo de Ag/AgCl en un electrolito de gel.[a]	La medición del pH por potenciometría se fundamenta en la medida de la diferencia entre dos potenciales eléctricos (indicador y referencia). [b]
Oxígeno disuelto (mg/LDO)	El sensor HI7698194-2 es galvánico de membrana, el cuerpo del sensor es de ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), las membranas son de PE-	El oxígeno se dispersa a través de la membrana, oxidando el electrodo de metal base, produciendo electricidad proporcionalmente a la

Parámetro	Sensor	Fundamento
	HD, tiene un cátodo de Ag y ánodo de Zn. [a]	concentración de oxígeno. [c]
Conductividad eléctrica (µS/cm)	El HI7698194-3 es un sensor de conductividad, el cuerpo es de ABS y electrodo de AISI 316 con cuatro anillos que reduce los efectos de polarización. [a]	La medición de la conductividad eléctrica se fundamenta en la aplicación de voltaje entre dos electrodos en un medio; la relación entre la conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos se expresa 1,4 µS/cm = 1 ppm. La salinidad y conductividad eléctrica son directamente proporcionales. [d, f]
Sólidos totales disueltos (ppm TDS)		
Salinidad (PSU)		
Temperatura (°C)	El sensor de temperatura es de acero inoxidable, termistor NTC. [a]	El fundamento de los termistores se encuentra en la variación de la resistencia de semiconductores con la temperatura.

a: Hanna Instrument [96]

b: Díaz [97]

c: Hanna Instrument [98]

d: Solís-Castro et al. [99]

f: Hanna Instrument [100]

g: Azate et al. [101]

Muestreo de agua

El personal de muestreo con la indumentaria de protección y guantes de látex estériles se ubicó en el punto medio de la corriente, donde el cuerpo de agua es más homogéneo, evitando zonas poco profundas.

Después, toma el recipiente y retira cuidadosamente la tapa y contratapa, sin contaminar el interior del frasco; enjuaga el frasco tres (03) veces.

Seguidamente, toma el frasco por el cuello y lo sumerge por completo en dirección opuesta al flujo de agua, recolectando la muestra de agua hasta su máxima capacidad, para aquellos parámetros que requieren preservación se consideró un espacio del 1% para añadir el preservante. Es preciso señalar que, durante el proceso de muestreo, el frasco del BC estuvo abierto.

Preservación, etiquetado y cadena de custodia

Los frascos con muestras de agua para el análisis de fluoruro, cloruro y sulfatos fueron preservados en un cooler a una temperatura menor a los 6 °C. Por otro lado, los francos con muestra de agua destinadas para la determinación de metales totales se le añadió 1 mL de ácido nítrico concentrado ($HNO_{3(cc)}$). El etiquetado y cadena de custodia fueron detallados en los anexos D y E.

IV.4.1.7 Análisis de laboratorio

Las muestras fueron analizadas por el Laboratorio de Química del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad cumpliendo los criterios establecidos por la NTP-ISO/IEC 17025:2017. El fundamento de la determinación de los parámetros de laboratorio se detalla a continuación:

Tabla 7. Fundamento de métodos de análisis.

Método	Analitos	Fundamento
Cromatografía iónicas EPA Método 300.1. [a]	Fluoruro, cloruro y sulfato	La cromatografía iónica es un método de separación fisicoquímica basada en la separación entre una fase móvil y una fase estacionaria. Las moléculas se adhieren a los intercambiadores de forma reversible, estas moléculas pueden ser unidas o separadas cambiando el medio iónico; al salir de la columna los iones son cuantificados por un detector de conductividad eléctrica, elaborando un cromatograma [a, b].
Digestión EPA Método 200.7 [c]	Al, As, B, Ba, Ca, Ce, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, S, SiO_2, Sr, Ti y Zn.	La espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), los elementos se atomizan e ionizan en el plasma a altas temperaturas; los electrones de la capa exterior elevan su energía, al regresar a su estado normal, la diferencia de energía es emitida como luz. Esta luz emitida es recolectada por un espectrómetro óptico al eje del plasma. Las longitudes de onda son separadas, estas son detectadas por dispositivos acoplados cargados (CCD, en sus siglas en inglés). La longitud de onda detectada es característica de cada elemento, por ello, la técnica es selectiva. [c, d, e]
Digestión EPA Método 200.8 [f]	Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, La, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb,	La espectrometría de masas de plasma (ICP-MS) se fundamenta en la generación de iones que serán separados y cuantificados. Esta técnica utiliza una fuente de plasma con el fin de disociar la muestra en iones o

	Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y y Zn	átomos; estos iones son extraídos del plasma, posteriormente son separados y cuantificados en un espectro de masas en función a la relación masa/carga. [f, g]

a: US EPA [102]

b: Weiss [103]

c: US EPA [104]

d: Michalke et al. [105]

e: Pramanik et al. [106]

f: US EPA [107]

g: Abou-Shakra [108]

IV.4.2 Evaluación de la contaminación

IV.4.2.1 Evaluación de la calidad ambiental

El río Olleros y sus tributarios pertenecen a la subcuenca del río Negro, estos son tributarios del río Santa, los cuales no se encuentran clasificados en la Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA[109]. Por ello, de acuerdo con la tercera disposición complementaria transitoria de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua aprobada con D.S. N° 004-2017-MINAM[110] establece que : "En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría de recurso hídrico al que esté tributa, previo análisis de dicha Autoridad".

Por ello, los cuerpos de agua superficial muestreado se evaluaron con los ECA-Categ1.A2 (Categoría 1: Poblacional y recreacional, Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional); debido a que el tramo del río Santa tiene esta clasificación. Asimismo, el agua superficial de la subcuenca del río Negro es consumida por la población en la zona sur (provincia de Recuay). Por otro lado, el área de estudio abarca un área natural protegida, el cual es el Parque Huascarán. Por ello, aquellos puntos de muestreo de agua superficial se evaluaron con el ECA-Categ4 (Categoría 4: Conservación del ambiente acuático).

IV.4.2.2 Determinación del grado de la contaminación

La determinación del grado de contaminación se utilizó el índice de contaminación por metales pesados (HPI) [78,79] de la siguiente forma:

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

Donde, Qi es el subindicador del HPI , Wi es el peso unitario del parámetro de metales pesados.

El Qi se calculó con la siguiente ecuación:

$$Q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100$$

Donde C_i es la concentración del enésimo parámetro de metales pesados en mg/L, y S_i es el límite máximo permisible en agua potable establecido por la Organización Mundial de la Salud, US EPA, entidad gubernamental o investigación.

El W_i se calculó con la siguiente ecuación:

$$W_i = \frac{k}{S_i}$$

Donde k es la constante de proporcionalidad, el cual tuvo un valor de 1, como lo determinaron Qu et al. [111], Razak et al. [112] y Wanda et al. [113].

El resultado del HPI se clasificó de acuerdo con el valor en tres categorías son las siguientes: contaminación baja (HPI<90) , contaminación media (90≤HPI<150) y contaminación alta (HPI ≥ 90) [114, 115, 116].

Tabla 8. Límite máximo permisible de metales en agua potable.

Metal	Concentración	Unidad
Hierro (Fe)	0.3[a]	mg/L
Aluminio (Al)	0.2[a]	
Cobre (Cu)	2[a]	
Manganeso (Mn)	0.4[b]	
Níquel (Ni)	0.07[a]	
Plomo (Pb)	0.01[a]	
Zinc (Zn)	5[b]	

a: World Health Organization [117]

b: US EPA [118]

IV.4.3 Evaluación del riesgo para la salud humana

Para la evaluación del riesgo de la salud humana se utilizó la metodología de Risk Assessment Guidance for Superfound (RAGS), Volume I: Human Health Evaluation de la US EPA[80] y la Guía ERSA del MINAM (R.M. N° 034-2015-MINAM)[56].

El procedimiento de evaluación del riesgo para la salud humana constó de dos etapas; la primera en la determinación de la exposición y la segunda en la determinación del riesgo no carcinogénico y riesgo carcinogénico.

Las concentraciones de los parámetros que sean menores al límite de detección analíticos (LDA), se utilizó la mitad del LDA para cada parámetro, tal como lo recomienda el MINAM[56]. Asimismo, los metales Al, Mn, Fe y Ni fueron contaminantes de preocupación. Los contaminantes seleccionados como contaminantes de preocupación fueron aquellos cuyas concentraciones superaron el ECA-Categ1.A2 o ECA-Categ4 [110].

IV.4.3.1 Determinación de la exposición

La determinación de exposición de metales se realizó en dos vías potenciales de exposición, las cuales son la ingestión y por contacto dérmico; asimismo, se calculó la exposición de acuerdo con el grupo etario y de acuerdo con el riesgo (carcinogénico y no carcinogénico).

La dosis de exposición por ingesta del contaminante puntual se calculó con la siguiente ecuación:

$$CDI_{in} = \frac{c_i \times IR \times ABS_g \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

CDI_{in}: Dosis de exposición por ingesta (µg/Kg.día)

c_i : Concentración del contaminante en agua (µg/L)

AT: Tiempo medio (día)

IR: Tasa de ingesta (L/día)

BW: Peso corporal (Kg)

ABS_g: Factor de absorción gastrointestinal

EF: Frecuencia de exposición (días)

ED: Duración de la exposición (año)

La dosis de exposición por contacto dérmico del contaminante puntual se calculó con la siguiente ecuación:

$$CDI_d = \frac{c_i \times SA \times K_p \times ABS_d \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$$

CDI_d: Dosis de exposición por contacto dérmico (µg/Kg.día)

c_i: Concentración del contaminante en agua (µg/L)

SA: Superficie de la piel (cm^2)

K_p: Coeficiente de permeabilidad (cm/h)

ABS_d: Factor de absorción dérmica

ET: Tiempo de exposición (h/día)

EF: Frecuencia de exposición (días)

ED: Duración de la exposición (año)

CF: Factor de conversión (L/cm^{-3})

BW: Peso corporal (Kg)

AT: Tiempo medio (día)

Los datos que fueron utilizados para el cálculo de la exposición se detallan en las tablas N° 9, 10, 11 y 12.

Tabla 9. Datos para el cálculo de exposición para la determinación del riesgo no carcinogénico por ingesta de agua.

Parámetro	Valor		Unidades
	Niños	Adultos	
Tasa de ingesta (IR)	1[a]	2[a]	$L.día^{-1}$
Factor de absorción gastrointestinal (ABS_g)	15% (Sb), 95% (As), 7% (Ba), 0.7 (Be), 2.5% (Cd), 57% (Cu), 6% (Mn), 4% (Ni), 30% (Se), 4% (Ag), 100% (Tl), 2.6% (V), 1.3% (Cr(III)), 2.5% (Cr(VI))[b] 11.7% (Pb), 20% (Zn)[c] 20% (Otros metales)[d]		20 -
Frecuencia de exposición (EF)	365[a,b]		día
Duración de la exposición (ED)	6[a]	30[a]	año
Peso corporal (BW)	15[a]	65[a]	Kg
Tiempo medio (AT)	EF×ED		día

a: Ministerio del Ambiente [56]

b: US EPA [80]

c: Li et al. [119]

d: Rodriguez-Proteau y Grant [120]

Tabla 10. Datos para el cálculo de exposición para la determinación del riesgo carcinogénico por ingesta de agua.

Parámetro	**Valor**		**Unidades**
	Niños	**Adultos**	
Tasa de ingesta (IR)	1[a]	2[a]	$L.día^{-1}$
Factor de absorción gastrointestinal (ABS_g)	95% (As), 2.5% (Cd), 2.5% (Cr(VI))[b]		-
Frecuencia de exposición (EF)	365[a,b]		$día.año^{-1}$
Duración de la exposición (ED)	75.65[c]		año
Peso corporal (BW)	15[a]	65[a]	Kg
Tiempo medio (AT)	EF×ED		día

a: Ministerio del Ambiente [56]

b: US EPA [80]

c: INEI [121]

Tabla 11. Datos para el cálculo de exposición para la determinación del riesgo no carcinogénico por contacto dérmico.

Parámetro	**Valor**		**Unidades**
	Niños	**Adultos**	
Superficie de la piel (SA)	8 750[a]	19 400[a]	cm^2
Coeficiente de permeabilidad (K_p)	1×10^{-3} (Cd), 2×10^{-3} (Cr (VI)), 1×10^{-3} (Cd (III)), 4×10^{-4} (Co), 1×10^{-4} (Pb), 2×10^{-4} (Cd), 6×10^{-4} (Ag), 6×10^{-4} (Zn) y 1×10^{-3} (Otros metales) b		$cm.h^{-1}$

Factor de absorción dérmica (ABS_d)	3% (As) [b], 0.1% (Cd) [b] y 0.1% (otros metales)[c]		-
Tiempo de exposición (ET)	0.14[c]	0.25[d]	h. día^{-1}
Frecuencia de exposición (EF)	365[a,b]		día.año^{-1}
Factor de conversión (CF)	10^{-3} [d]		L.cm^{-3}
Peso corporal (BW)	15[a]	65[a]	Kg
Duración de la exposición (ED)	6[a]	30[a]	Año
Tiempo medio (AT)	EF×ED	EF×ED	día

a: Ministerio del Ambiente(56)

b: US EPA(80)

c: Li et al. (119)

d: Asante-Duah (122)

Tabla 12. Datos para el cálculo de exposición para la determinación del riesgo carcinogénico por contacto dérmico.

Parámetro	**Valor**		**Unidades**
	Niños	**Adulto**	
Superficie de la piel (SA)	8 750[a]	19 400[a]	cm^2
Coeficiente de permeabilidad (K_p)	1 x 10^{-3} (Cd), 2 x 10^{-3} (Cr(VI)) y 1 x 10^{-3} (Otros metales)[b]		cm.h^{-1}
Factor de absorción dérmica (ABS_d)	3% (As)b y 0.1% (otros metales)[c]		-
Tiempo de exposición (ET)	0.14[d]	0.25[d]	h. día^{-1}
Frecuencia de exposición (EF)	365[a,b]		día.año^{-1}
Factor de conversión (CF)	10^{-3} [d]		L.cm^{-3}

Peso corporal (BW)	15[a]	65[a]	Kg
Duración de la exposición (ED)	75.65[e]		Año
Tiempo medio (AT)	EF×ED		día

a: Ministerio del Ambiente [56]

b: US EPA[80]

c: Li et al. [119]

d: Asante-Duah [122]

e: INEI [121]

IV.4.3.2 Determinación del riesgo para la salud humana

El riesgo no carcinogénico se calculó utilizando el cociente de riesgo (HQ) con la siguiente ecuación:

$$HQ = \frac{CDI}{RfD}$$

CDI: Dosis de exposición (µg/Kg.día)

RfD : Dosis de referencia por ingesta o contacto dérmico de metales (µg/Kg.día)

La dosis de referencia fue consultada en Integrated Risk Information System de US EPA [123], Evaluaciones provisionales de valores de toxicidad revisados por pares (PPRTV, en sus siglas en inglés) de US EPA [124] , e investigaciones, los cuales se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de dosis de referencia por ingesta y contacto dérmico de metales.

Elemento	RfD_{ing}	RfD_d	Unidades
Al	1000[a]	200[b]	µg/kg.día
As	0.3 [a]	0.285[b]	
Cd	0.5[a]	0.025[b]	
Co	0.3[c]	0.06[b]	
Cr	3[a]	0.075[b]	
Cu	40[a]	8[b]	

Fe	700[a]	140[b]	
Mn	24[a]	0.96[b]	
Ni	20[a]	0.8[b]	
Pb	1.4[b]	0.42[b]	
Li	2[c]	10	
Zn	300[a]	75[d]	

a: US EPA [123]

b: Li y Zhang [125]

c: US EPA [124]

d: Kamunda et al. [126]

Posteriormente se calculó el riesgo no carcinogénico (HI) realizando la sumatoria de los cocientes de riesgo por ingesta y contacto dérmico de los metales analizados, siguiendo la siguiente ecuación:

$$HI = \sum HQ = HQ_{in} + HQ_{derm}$$

HQ: Cociente de riesgo

Los valores resultantes fueron interpretados de acuerdo con la US EPA [80], el cual determina que existe riesgo no carcinogénico cuando HI es mayor igual a 1 y no existe riesgo no carcinogénico cuando HI es menor a 1.

El riesgo carcinogénico (CR) fue determinado utilizando la siguiente ecuación:

$$CR = CDI \times SF$$

CDI: Dosis de exposición(µg/Kg.día)

SF: Factor dependiente del cáncer (µg/Kg.día)$^{-1}$

Los valores de CR de acuerdo con la US EPA[80] se dividen en tres rangos; nivel insignificante de cáncer ($CR<10^{-6}$), nivel aceptable de cáncer ($10^{-6} \leq CR<10^{-4}$) y riesgo de cáncer ($CR \geq 10^{-4}$).

Los valores de SF para la determinación de riesgo carcinogénico por ingesta y contacto dérmico son publicados por la US EPA[123], los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 14. Valores del factor dependiente del cáncer.

Elemento	SF_{ing}	SF_d	Unidades
As	1.5×10^{3} [a]	3.66×10^{3} [b]	µg/kg.día
Cr (VI)	0.5×10^{3} [a]	-	

a: US EPA[123]

b: Li y Zhang [125]

IV.4.4 Análisis estadístico

El procesamiento y análisis estadístico se realizó utilizando el análisis de componentes principales (PCA, en sus siglas en ingles) y para la factibilidad de los datos analizados se utilizó la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett; asimismo, se utilizó el análisis de conglomerados (CA, en sus siglas en inglés). El software utilizado para el análisis estadístico fue en IBM SPSS Statistics 28 con licencia de la Escuela Nacional de Estadística e Informática del Instituto de Nacional de Estadística e Informática y R-Studio V 2022.02.0+443 de licencia libre.

IV.4.5 Análisis espacial

La elaboración de mapas de inferencia geoespacial del HPI e índice de riesgo no carcinogénico (HI) se realizó utilizando el método de ponderación de distancia inversa (IDW) en el software de ArcGIS 10.8 con licencia del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).

V. RESULTADOS

El presente estudio estuvo conformado por veintiún (21) muestras de agua superficial, de las cuales dos (02) muestras fueron eliminadas, debido a que no cumplieron con las especificaciones de preservación.

V.1 Resultados del análisis descriptivo e inferencial

Tabla 15. Estadísticos descriptivos de los parámetros.

Parámetro	Unidad	Min	Max	Media	Mediana	Desviación estándar
pH	unidad pH	2.708	6.912	4.076	2.998	1.71
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	4.972	7.784	6.61	6.538	0.8461
Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	69.4	1848.6	826.652	997.6	589.0372
Solidos disueltos totales (TDS)	ppm	34.4	924.6	413.431	499	294.9358
Salinidad	PSU	0.03	0.948	0.413	0.5	0.2999
Temperatura	°C	1.268	14.35	9.26	9.682	3.6877
Flúor (F^-)	mg/L	0.1	0.8	0.368	0.4	0.2428
Cloro (Cl^-)	mg/L	0.1	1.8	0.636	0.6	0.5123
Sulfato ($SO_4^=$)	mg/L	1.6	493.8	156.726	167.3	133.6473
Sodio (Na)	mg/L	0.6	5.1	2.305	2	1.2821
Magnesio (Mg)	mg/L	0.7	30.4	11.657	12.5	9.448
Potasio (K)	mg/L	0.1	1.4	0.494	0.4	0.3763
Calcio (Ca)	mg/L	3.7	36.2	17.4737	18.9	8.9903
Dióxido de silicio (SiO_2)	mg/L	2	5.8	3.8105	4.1	1.144
Hierro (Fe)	mg/L	0.11	160.85	28.5974	17.54	38.8629
Azufre (S)	mg/L	0.9	191.4	61.2526	63.5	52.9723
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0264	0.1879	0.0668	0.0634	0.0388
Litio (Li)	mg/L	0.0002	0.3005	0.0365	0.0265	0.0663
Plata (Ag)	mg/L	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.000

Parámetro	Unidad	Min	Max	Media	Mediana	Desviación estándar
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	10.573	3.8324	3.761	3.4866
Arsénico (As)	mg/L	0.0005	0.007	0.0012	0.0005	0.0016
Boro (B)	mg/L	0.025	0.08	0.025	0.0297	0.0146
Bario (Ba)	mg/L	0.002	0.0152	0.0059	0.0057	0.0029
Berilio (Be)	mg/L	0.0001	0.0013	0.0004	0.0004	0.0003
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0001	0.0006	0.0003	0.0003	0.0002
Cesio (Ce)	mg/L	0.0001	0.0174	0.0061	0.0065	0.0055
Cobalto (Co)	mg/L	0.0001	0.1811	0.0529	0.0479	0.055
Cromo (Cr)	mg/L	0.0005	0.001	0.0006	0.0005	0.0002
Cobre (Cu)	mg/L	0.0006	0.0085	0.0048	0.0058	0.0026
Lantano (La)	mg/L	0.0001	0.0071	0.0025	0.0026	0.0022
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0032	3.2579	1.0846	1.0997	0.9798
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0001	0.0136	0.0013	0.0003	0.0031
Níquel (Ni)	mg/L	0.0004	0.2368	0.0853	0.0878	0.0783
Plomo (Pb)	mg/L	0.0003	0.0044	0.0016	0.0013	0.001
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0
Selenio (Se)	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	0
Estaño (Sn)	mg/L	0.0003	0.0017	0.0004	0.0003	0.0004
Torio (Th)	mg/L	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0
Talio (Tl)	mg/L	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0
Titanio (Ti)	mg/L	0.0006	0.0268	0.0044	0.0023	0.0061
Uranio (U)	mg/L	0.0001	0.0182	0.0013	0.0001	0.0041
Vanadio (V)	mg/L	0.0003	0.0014	0.0006	0.0003	0.0004
Tungsteno (W)	mg/L	0.0003	0.0009	0.0003	0.0003	0.0002
Itrio (Y)	mg/L	0.0003	0.025	0.0103	0.0121	0.0084
Zinc (Zn)	mg/L	0.008	0.555	0.2338	0.249	0.184

V.1.1 Análisis descriptivo de parámetros *in situ* pH, CE y TDS.

La media del pH fue 4.07 y el pH de todos por puntos registraron pH ácido (pH<7). Asimismo, el 50% de los puntos de muestreo tuvieron pH menor a 3; la media de la CE fue 826.65 µS/cm y el 50% de los registros fueron mayor a 997.6 µS/cm; la media de TDS fue 413.43 ppm.

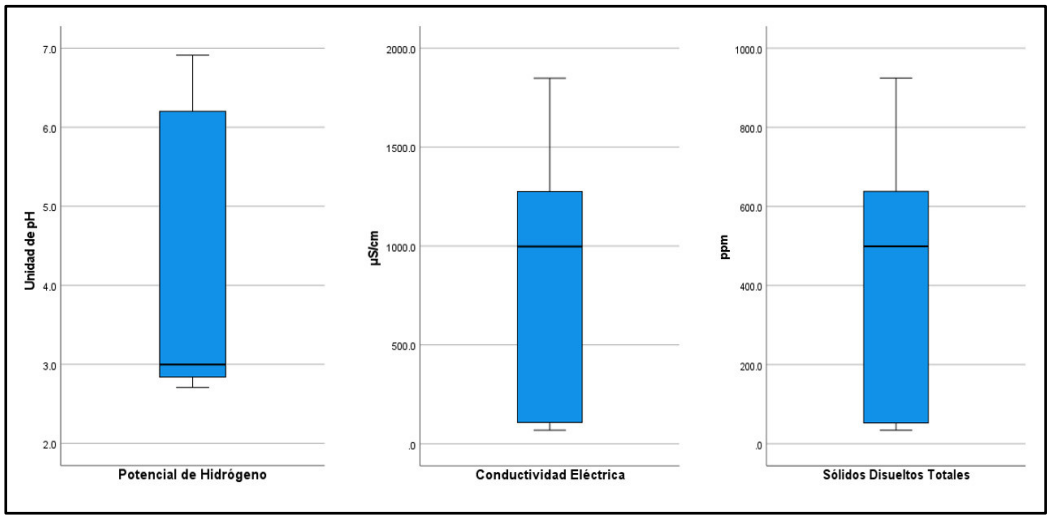


Figura 12.Diagrama de cajas de parámetros pH, CE y TDS.

V.1.2 Análisis descriptivo de parámetros *in situ* de OD, temperatura y salinidad

La media del OD fue 6.61 mg/L; la temperatura promedio fue de 9.260 °C; la media de la salinidad fue 0.413 PSU, y el 50% de los registros fueron mayor a 0.476 PSU.

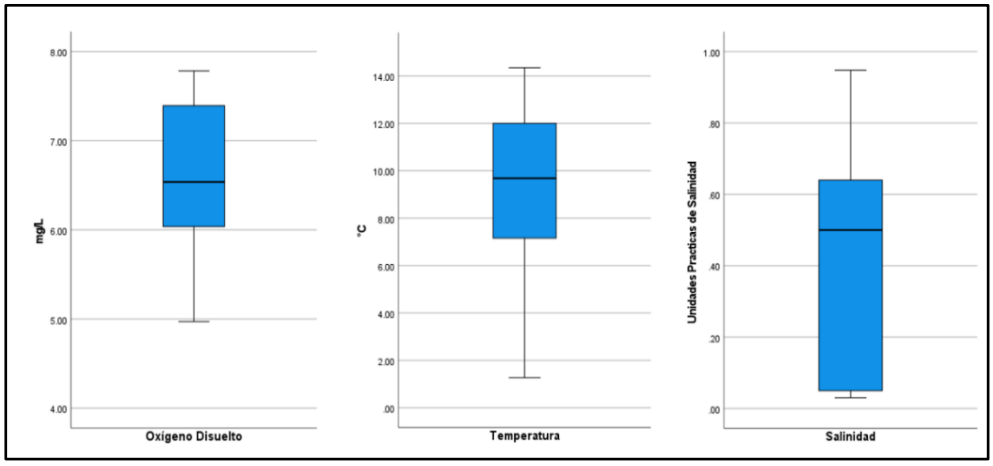


Figura 13. Diagrama de cajas de parámetros OD, temperatura y salinidad.

V.1.3 Análisis descriptivo del flúor, cloro, potasio y zinc

La media de F^- fue 0.636 mg/L, el 100% de los registros tuvieron concentración menor a 1.0 mg/L; la media de Cl^- fue 0.636 mg/L; la media de K fue 0.494 mg/L y el 25% de los valores fueron mayores a 0.763 mg/L; la media de Zn fue 0.233 mg/L y el 25% de los registros tiene concentración mayor a 0.367 mg/L.

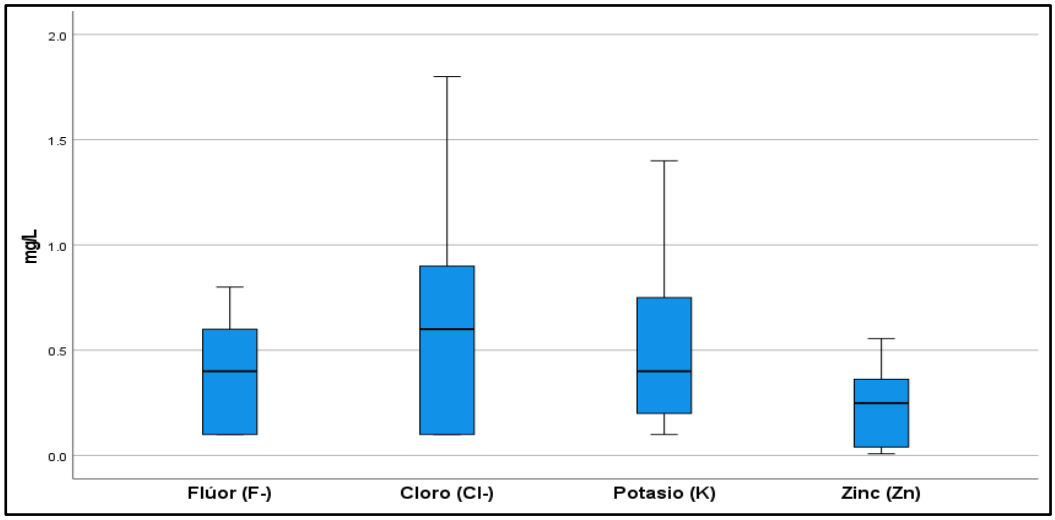


Figura 14. Diagrama de cajas de parámetros de F^-, Cl^-, K y Zn.

V.1.4 Análisis descriptivo del calcio y magnesio

La media de Ca fue 17.473 mg/L y el 50% de los registros tuvieron concentración mayor a 18.90 mg/L y la media de Mg fue 11.657 mg/L y el 15% de los registros tienen concentración mayor a 25.315 mg/L.

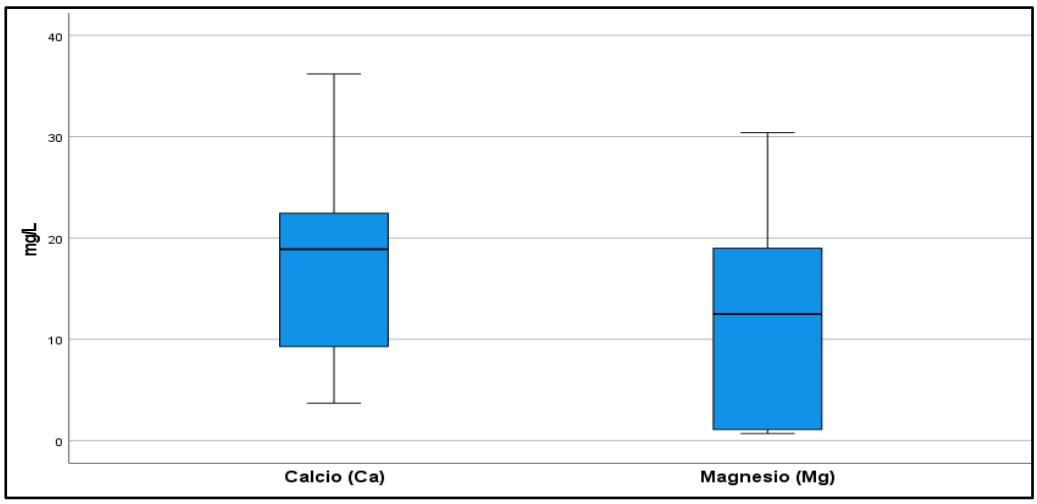


Figura 15. Diagrama de cajas de parámetros de Ca y Mg.

V.1.5 Análisis descriptivo del óxido de silicio, aluminio, manganeso y sodio

La media de SiO_2 fue 3.810 mg/L; la media de Al fue 3.832 mg/L y el 44% de los puntos de muestreo tuvieron concentración mayor a 4.9122 mg/L; la media de Mn fue 1.084 mg/L y el 70% de los puntos de muestreo tienen concentración mayor a 0.0504 mg/L y la media de Na fue 2.305 mg/L.

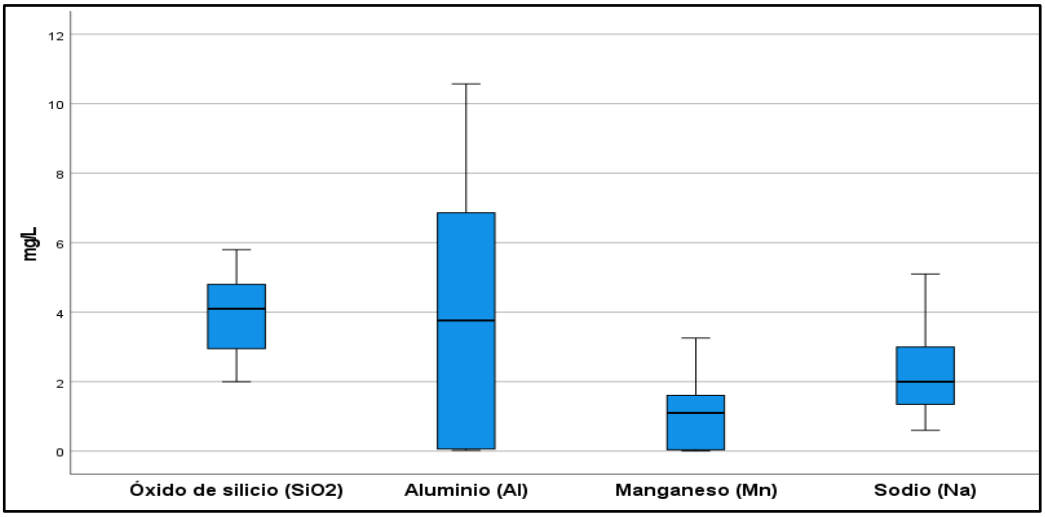


Figura 16. Diagrama de cajas de parámetros de SiO2, Al, Mn y Na.

V.1.6 Análisis descriptivo del sulfato, hierro y azufre

La media de $SO_4^=$ fue 156.726 mg/L y el 36% de los puntos muestreados tuvieron concentración mayor a 201.12 mg/L; la media de Fe fue 28.597 mg/L, el 70% de los puntos muestreados tuvieron concentración mayor a 0.96 mg/L, asimismo, se registró valor extremo en QPuma (160.85 mg/L). Por otro lado, la media de S fue 61.252 mg/L y el 25% de puntos muestreados tuvieron concentración mayor a 99.8 mg/L.

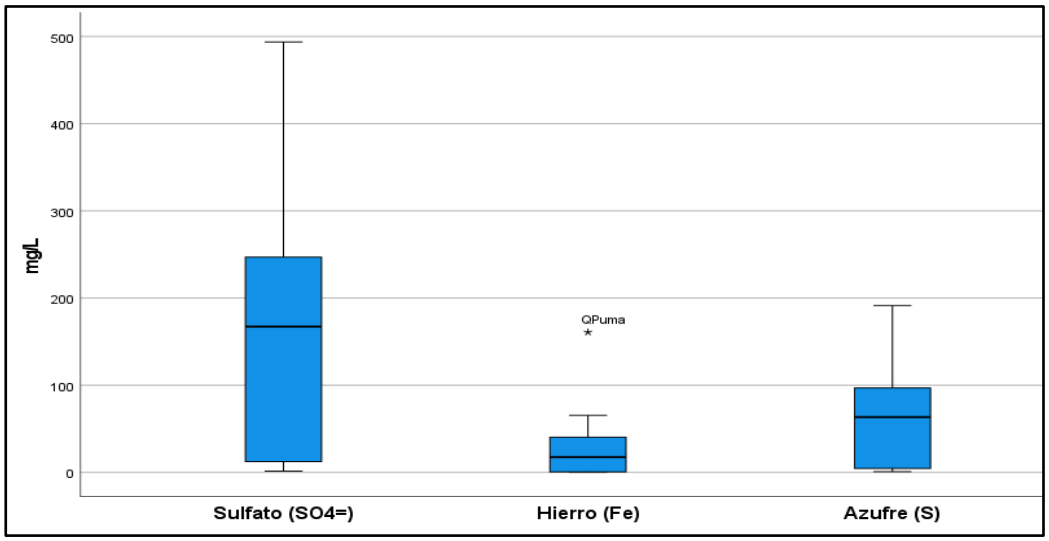


Figura 17. Diagrama de cajas de parámetros $SO_4^=$, Fe y S.

V.1.7 Análisis descriptivo del estroncio, litio, cobalto y níquel

La media de Sr fue 0.066 mg/L y se registró un valor extremo en QPuma (0.1879 mg/L); la media de Li fue 0.036 mg/L y registró un valor atípico en QSNom3 (0.3005 mg/L); la media de Co fue 0.052 mg/L y registró un valor atípico en QSNom3 (0.1811 mg/L) y la media de Ni fue 0.085 mg/L y el 68% de los puntos muestreados tienen concentración mayor a 0.008 mg/L.

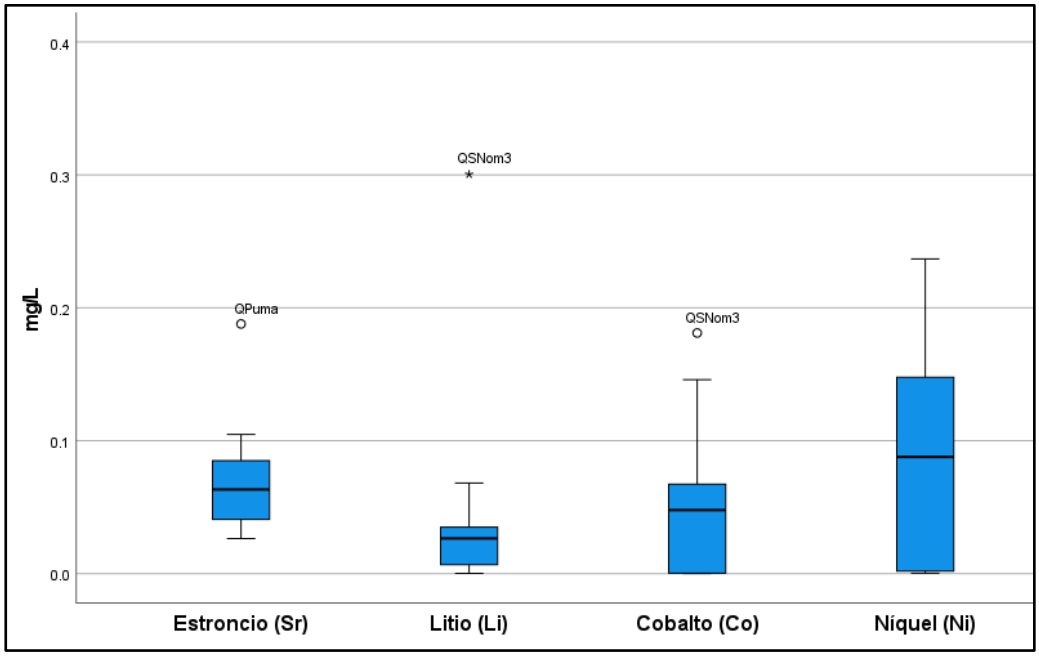


Figura 18. Diagrama de cajas de parámetros Sr, Li, Co y Ni.

V.1.8 Análisis descriptivo del bario, cesio, cobre, lantano, titanio e itrio

La media de Ba fue 0.0059 mg/L y registró valor extremo en ROlle (0.0152 mg/L); la media de Ce fue 0.0061 mg/L; la media del Cu fue 0.0048 mg/L y el 100% de las observaciones tienen concentración menor a 0.01 mg/L; la media de La fue 0.0025 mg/L; la media de Ti fue 0.0044 mg/L y se registró valor atípico en LTara2 (0.0268 mg/L) y la media de Y fue 0.0103 mg/L.

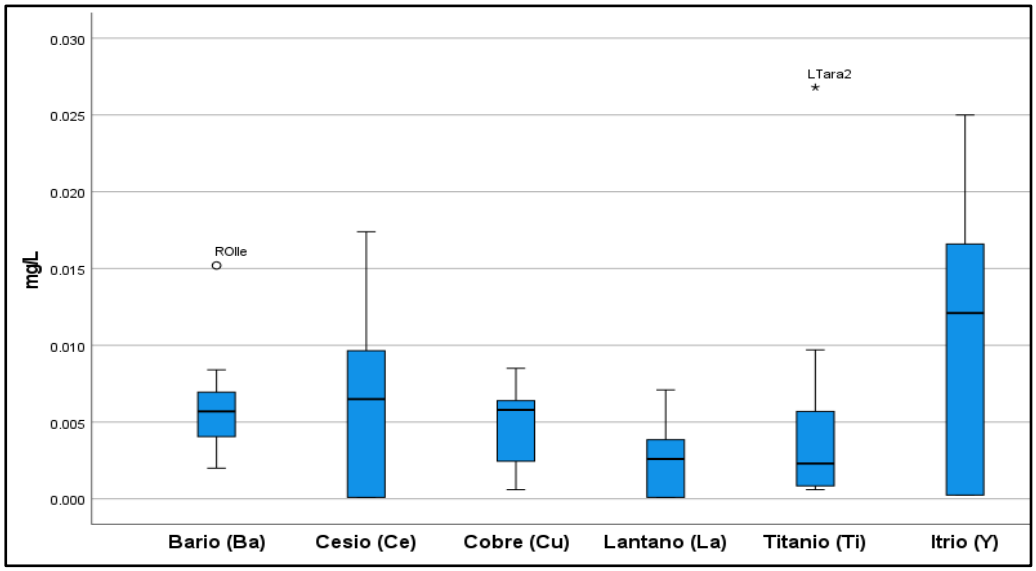


Figura 19. Diagrama de cajas de parámetros Ba, Ce, Cu, La, Ti e Y.

V.1.9 Análisis descriptivo del berilio, cadmio y vanadio

La media de Be fue 0.0004 mg/L y se registró un valor extremo en la observación QPuma (0.0013 mg/L); la de Cd fue 0.0003 mg/L; la media de V 0.0006 mg/L. La concentración de estos tres parámetros fue traza y por debajo del límite de detección del método analítico.

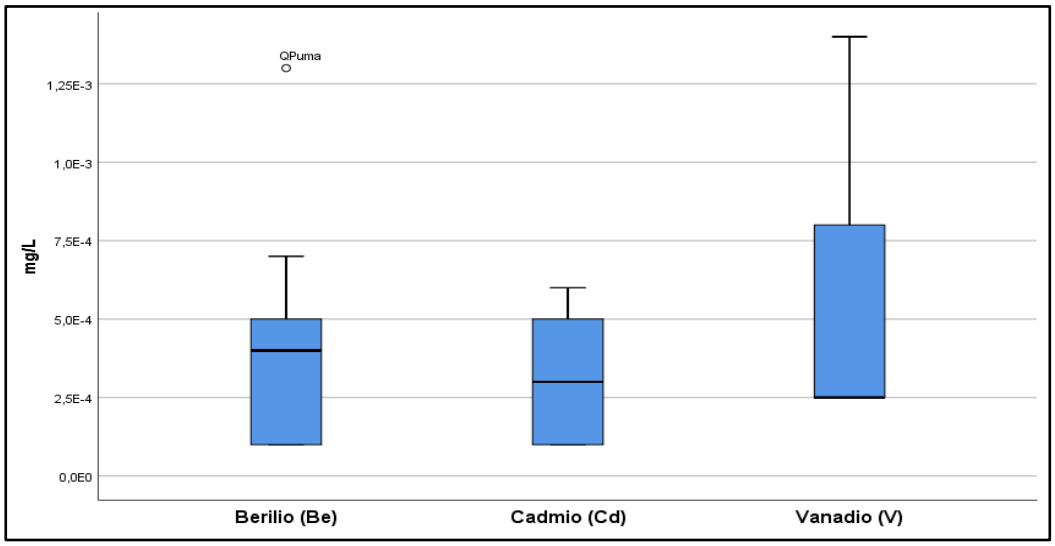


Figura 20. Diagrama de cajas de parámetros de Be, Cd y V.

V.1.10 Análisis descriptivo del arsénico, molibdeno, plomo y uranio

La media de As fue 0.0012 mg/L y registró valor atípico en QPuma (0.0013 mg/L); la media de Mo fue 0.0013 mg/L y registró un valor atípico en QRure1 (0.0136 mg/L), asimismo, registró valor extremo en QOlle (0.0023 mg/L); la media de Pb fue 0.0016 mg/L, registró un valor extremo en ROlle (0.0037 mg/L) y un valor extremo en LTara2 (0.0044 mg/L) y la media de U fue 0.0013 mg/L con valor atípico en QRure1 (0.016 mg/L) y valor extremo en QRure3 (0.237 mg/L).

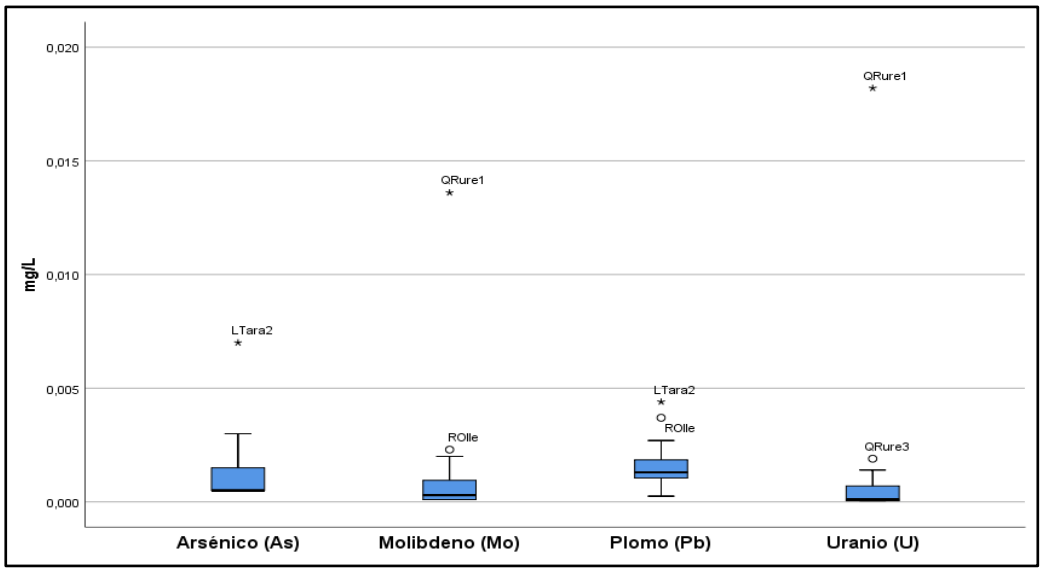


Figura 21. Diagrama de cajas de parámetros As, Mo, Pb y U.

V.1.11 Análisis descriptivo de otros metales

La media de Ag fue 0.00015 mg/L; Bi fue 0.0001 mg/L, Sb fue 0.0004 mg/L, Se fue 0.001 mg/L, Tl fue 0.00005 mg/L , Cr fue 0.0006 mg/L, Sn fue 0.0004 mg/L y Th fue 0.0001 mg/L. Las concentraciones de estos metales estuvieron por debajo del límite de detección del método analítico.

V.1.12 Análisis inferencial

Los parámetros de OD, temperatura, $SO_4^=$, Na, Mg, Ca, SiO_2, S, Cu, Mn y Zn tuvieron p-valor mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$); por lo tanto, tienen distribución normal. Por otro lado, el pH, CE, TDS, salinidad , F^-, Cl^-, K, Fe, Sr, Li, Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Ce, Co, Cr, La, Mo, Ni, Pb, Sn, Th, Tl, U, V, W e Y tuvieron p-valor menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$); por lo tanto, no tienen distribución normal.

Tabla 16. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de los parámetros.

Parámetro	Estadístico	gl	Sig.
Potencial de hidrógeno (pH)	0.702	19	0.000
Oxígeno disuelto (OD)	0.931	19	0.184
Conductividad eléctrica (CE)	0.891	19	0.034
Sólidos disueltos totales (TDS)	0.890	19	0.033
Salinidad	0.894	19	0.038
Temperatura	0.949	19	0.376
Flúor (F^-)	0.868	19	0.013
Cloro (Cl^-)	0.893	19	0.036
Sulfato ($SO_4^=$)	0.908	19	0.067
Sodio (Na)	0.912	19	0.081
Magnesio (Mg)	0.913	19	0.084
Potasio (K)	0.887	19	0.028
Calcio (Ca)	0.956	19	0.491
Dióxido de silicio (SiO_2)	0.944	19	0.309
Hierro (Fe)	0.728	19	0.000
Azufre (S)	0.912	19	0.079
Estroncio (Sr)	0.845	19	0.006
Litio (Li)	0.474	19	0.000

Parámetro	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio (Al)	0.898	19	0.045
Arsénico (As)	0.539	19	0.000
Boro (B)	0.373	19	0.000
Bario (Ba)	0.853	19	0.007
Berilio (Be)	0.797	19	0.001
Cadmio (Cd)	0.843	19	0.005
Cesio (Ce)	0.895	19	0.040
Cobalto (Co)	0.865	19	0.012
Cromo (Cr)	0.507	19	0.000
Cobre (Cu)	0.928	19	0.156
Lantano (La)	0.895	19	0.040
Manganeso (Mn)	0.914	19	0.086
Molibdeno (Mo)	0.401	19	0.000
Níquel (Ni)	0.898	19	0.044
Plomo (Pb)	0.847	19	0.006
Estaño (Sn)	0.450	19	0.000
Torio (Th)	0.362	19	0.000
Talio (Tl)	0.632	19	0.000
Uranio (U)	0.338	19	0.000
Vanadio (V)	0.771	19	0.000
Tungsteno (W)	0.368	19	0.000
Itrio (Y)	0.890	19	0.032
Zinc (Zn)	0.915	19	0.091

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk
Nivel de significancia $\alpha=0.05$
H_0: La distribución de la variable tiene una distribución normal.
H_1: La distribución de la variable no tiene una distribución normal.

V.2 Resultados de la evaluación de la calidad ambiental del agua

Las diecinueve (19) muestras de agua fueron evaluadas por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua aprobado con D.S. N° 004-2017-MINAM [104]; siete (07) fueron evaluadas con el ECA-Categ1.A2, tres (03) con el ECA-Categ4.E1 y nueve (09) con el ECA-Categ4.E2.

V.2.1 Parámetros evaluados con el ECA-Categ.1.A2

V.2.1.1 Potencial de hidrógeno

Los valores de pH de QPuyh y QSNom2 estuvieron dentro del rango establecido por el ECA-Categ1.A2 (pH : 5.5 - 9); excepto QRure2, QRure3 , QUqui, RNegr y ROlle, registrando pH ácido.

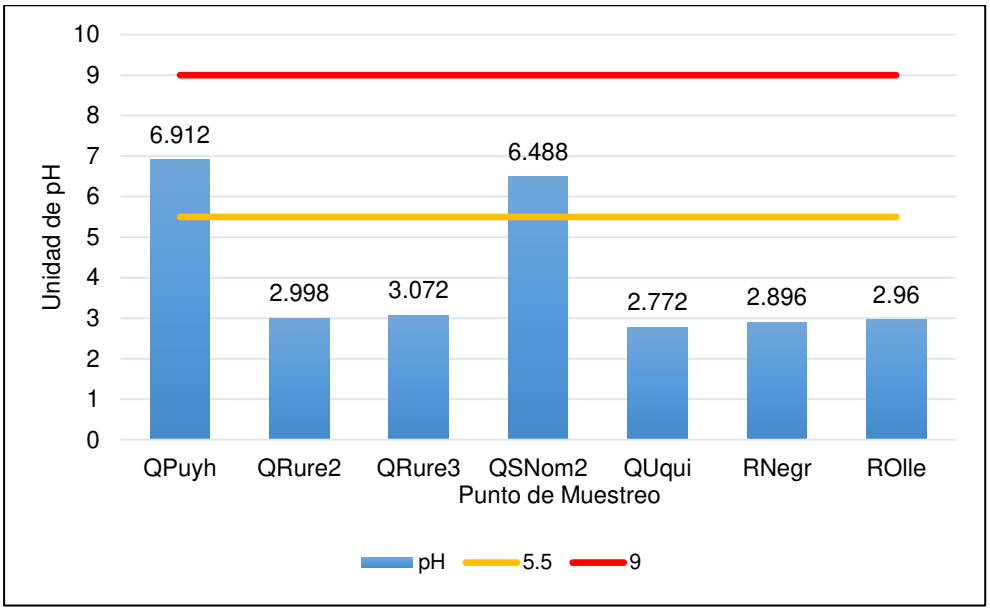


Figura 22. Comparación del pH de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.2 Oxígeno disuelto

Los valores de OD (mg/L) de QPuyh, QRure3, QSNom2, QUqui , RNegr, ROlle estuvieron dentro del rango establecido por el ECA-Categ1.A2; excepto el valor para QRure2.

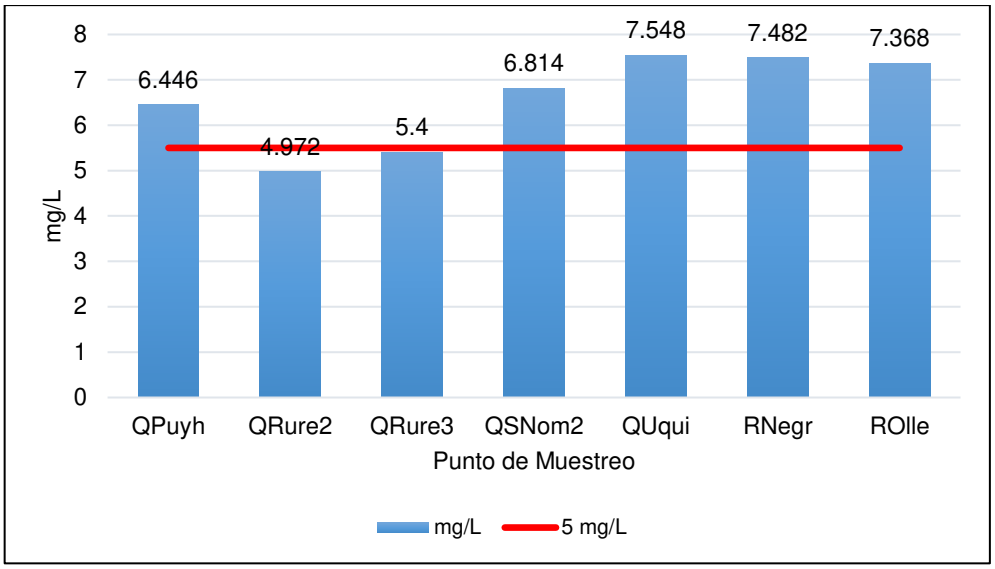


Figura 23. Comparación del OD (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.3 Conductividad eléctrica

Los valores de CE (µS/cm) de PQuyh, QRure2, QRure3, QSNom2, QUqui, RNegr y ROlle se encuentran por debajo del límite de 1600 µS/cm, cumpliendo el ECA-Categ1.A2.

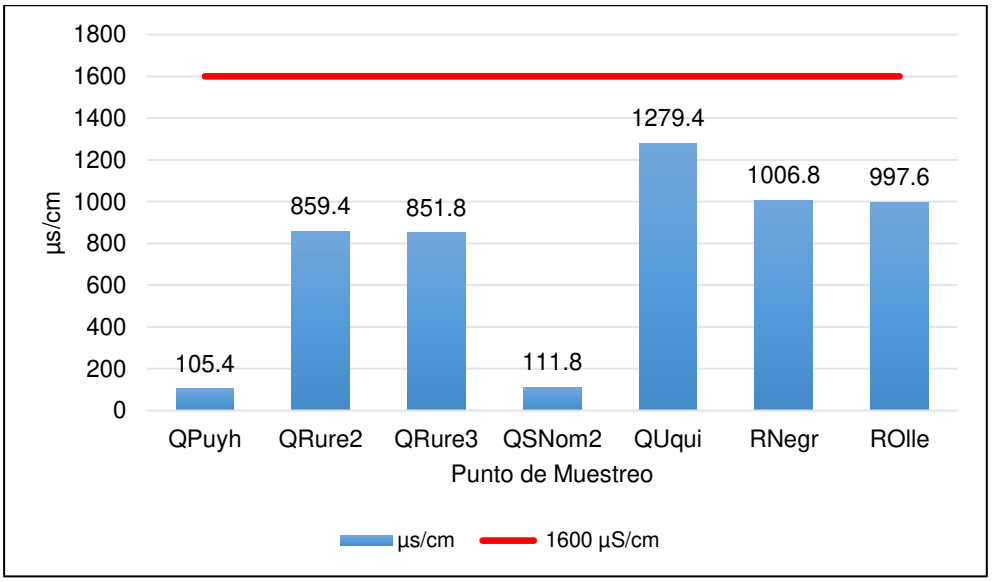


Figura 24. Comparación de CE (µS/cm) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.4 Sólidos disueltos totales

Los niveles de TDS (ppm) de PQuyh, QRure2, QRure3 , QSNom2, QUqui, RNegr y ROlle se encuentran por debajo del límite de 1000 ppm, cumpliendo el ECA-Categ1.A2.

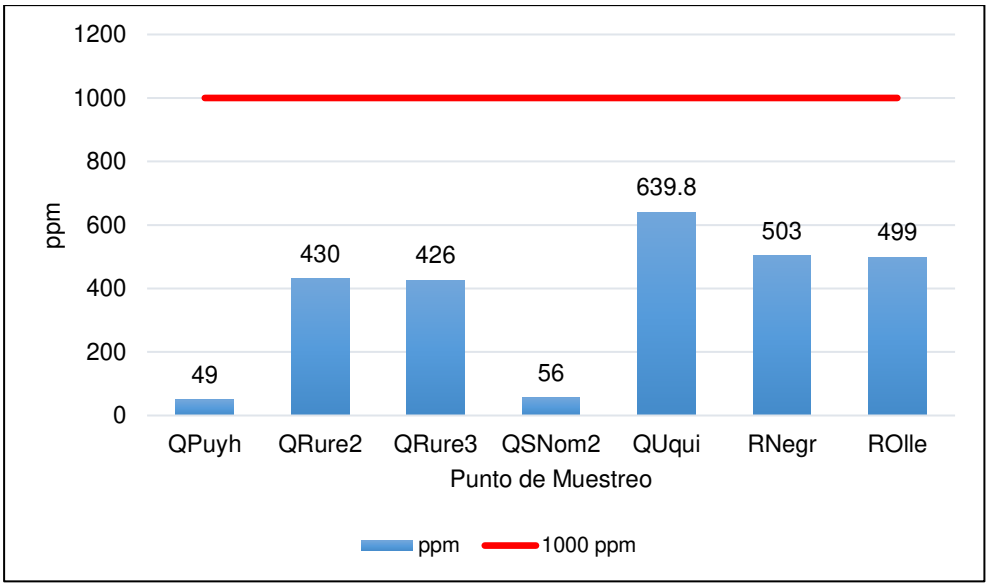


Figura 25. Comparación de TDS (ppm) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.5 Cloro

Los valores de Cl^- (mg/L) en PQuyh, QRure2, QRure3, QSNom2, QUqui , RNegr y ROlle se ubicaron por debajo del límite máximo de 250 mg/L, cumplieron con el ECA-Categ1.A2.

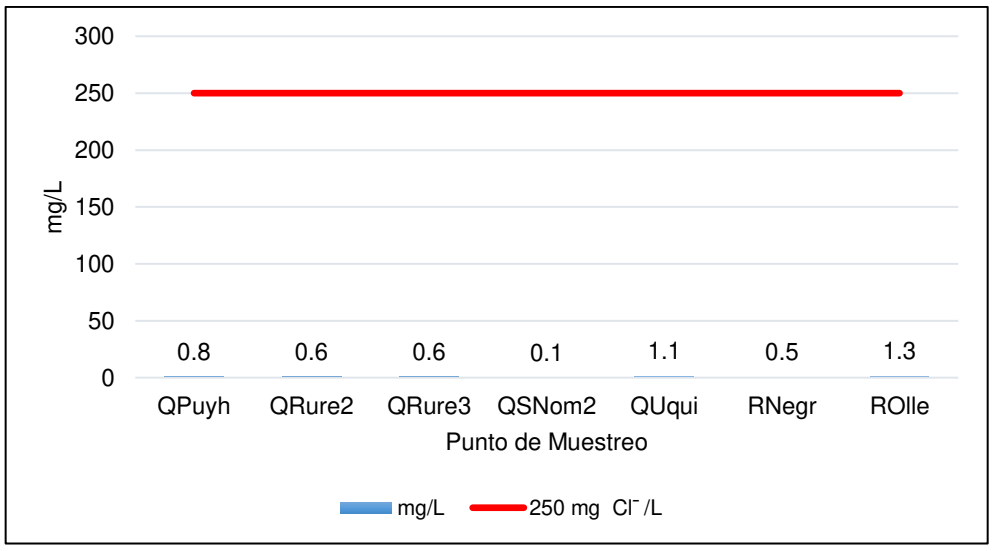


Figura 26. Comparación de Cl- (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.6 Sulfatos

Los valores de $SO_4^=$ (mg/L) en PQuyh ,QRure2 ,QRure3, QSNom2, QUqui, RNegr y ROlle se ubicaron por debajo del límite máximo de 500 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2.

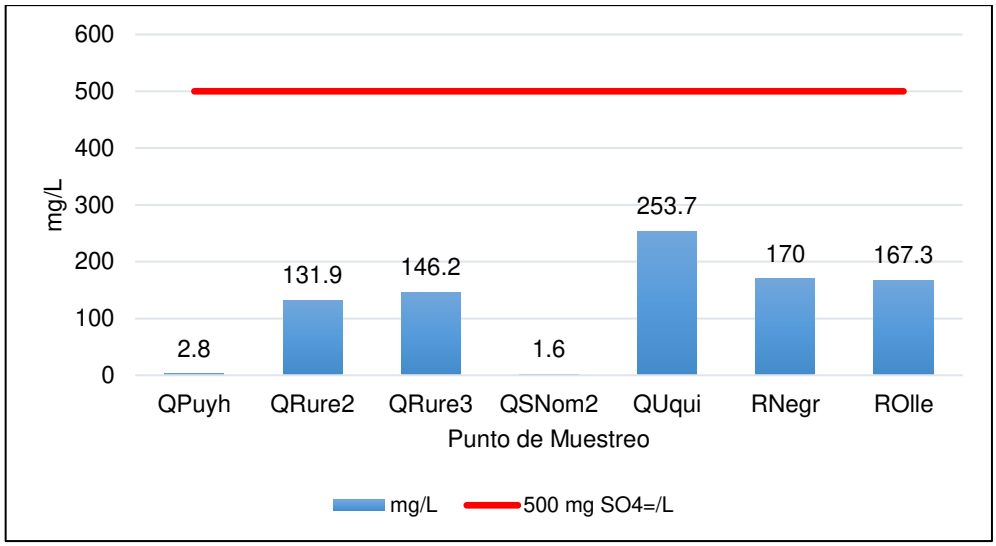


Figura 27. Comparación de SO4= (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.7 Hierro

Los valores de Fe (mg/L) en QPuyh y QSNom2 estuvieron por debajo de 1mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2; excepto en QRure2, QRure3, QUqui , RNegr y ROlle.

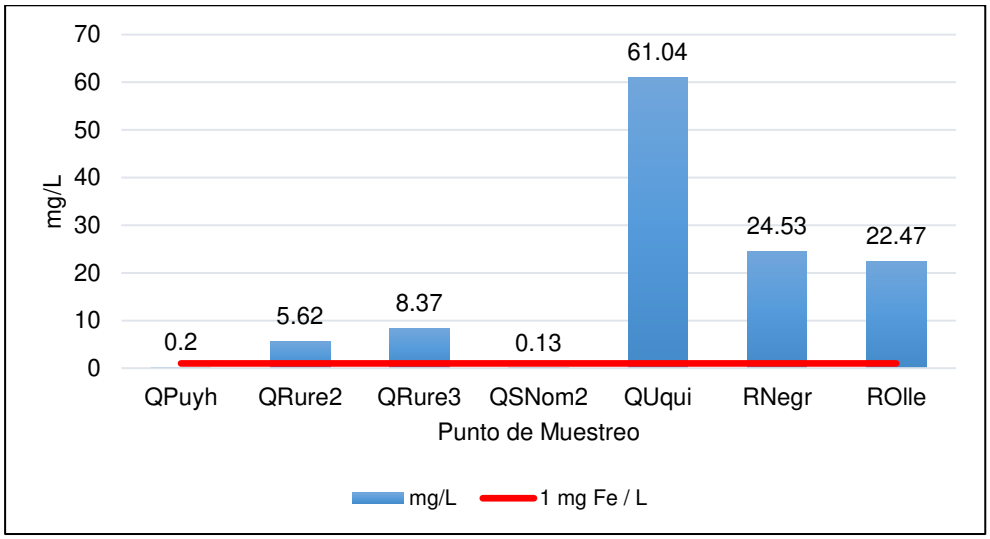


Figura 28. Comparación de Fe (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.8 Aluminio

Los valores de Al (mg/L) en QPuyh, QRure2 , QRure3, QSNom2, RNegr y ROlle estuvieron por debajo de 5 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2; excepto en QUqui.

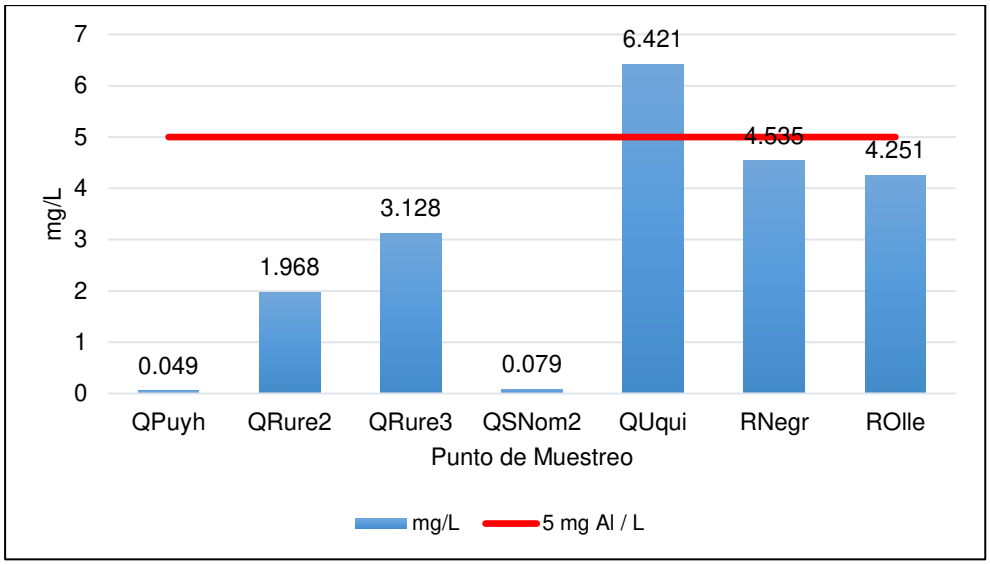


Figura 29. Comparación de Al (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.9 Arsénico

Todos los valores de As estuvieron por debajo de 0.01 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2. Asimismo, los valores de QRure2, QRure3, QSNom2, QUqui y RNegr estuvieron por debajo del LDA (<0.001 mg/L).

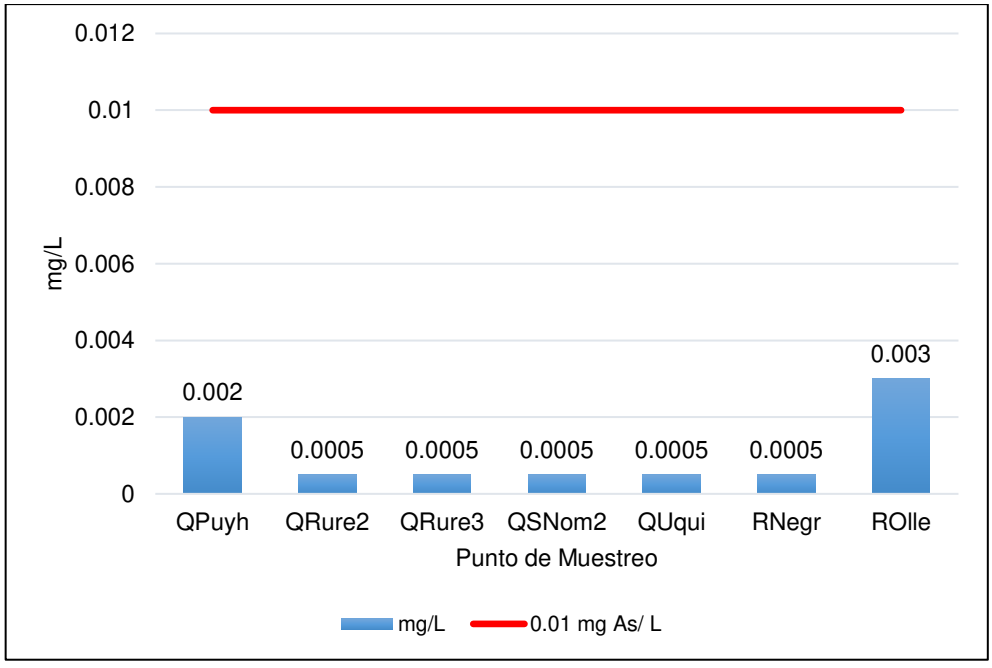


Figura 30. Comparación de As (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.10 Boro

Todos los valores de B (mg/L) estuvieron por bajo de 2.4 mg/L, cumplieron con el ECA-Categ1.A2. Asimismo, los valores en Puyh, QRure2, QSNom2, QUqui, RNegr estuvieron por debajo del LDA (<0.05 mg/L).

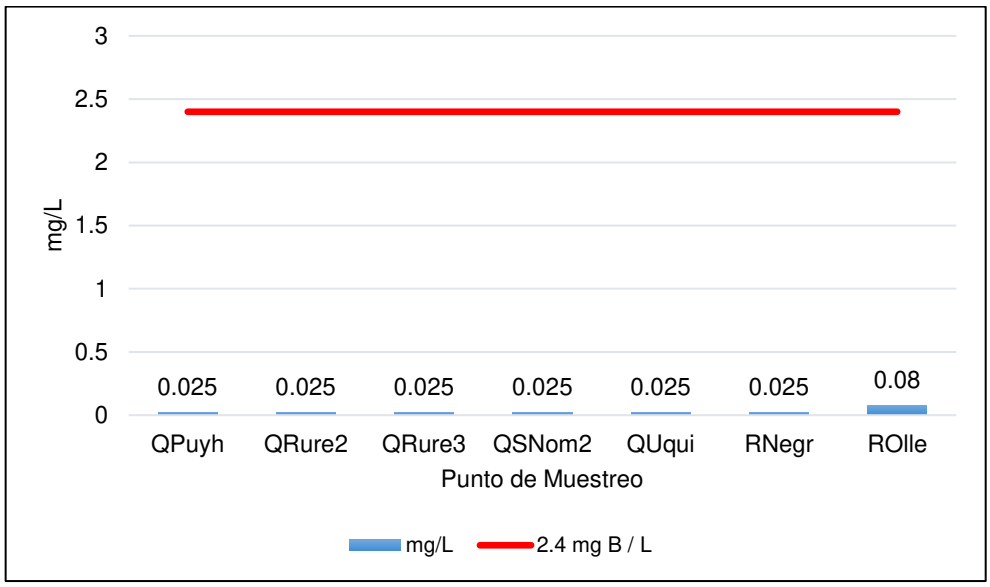


Figura 31. Comparación de B (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.11 Bario

Todos los valores de Ba (mg/L) estuvieron por debajo de 1 mg /L, cumplieron el ECA-Categ1.A2.

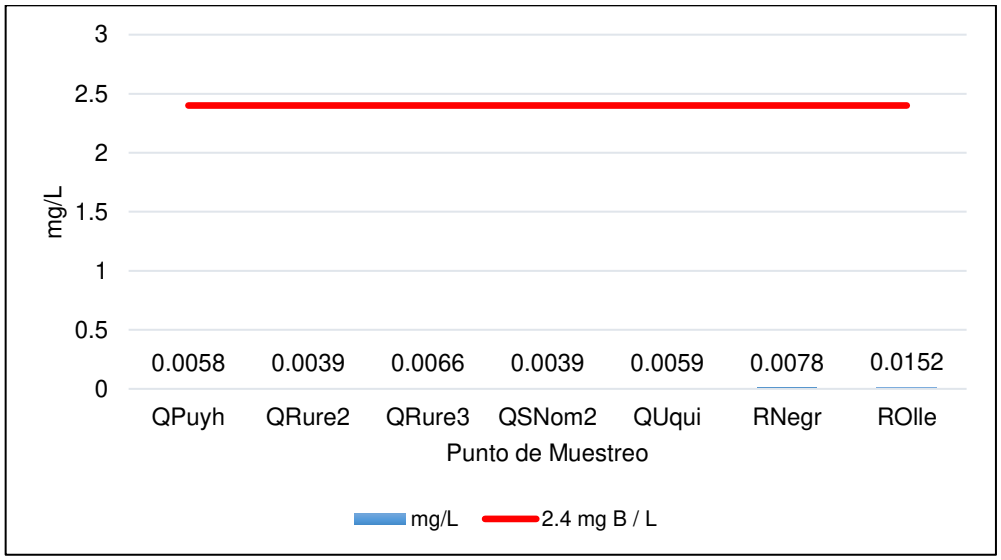


Figura 32. Comparación de Ba (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.12 Berilio

Todos los valores de Be (mg/L) estuvieron por debajo de 0.004 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2. Asimismo, los valores en QPuyh, QRure2 y QSNom2 estuvieron por debajo del LDA (<0.0002 mg/L).

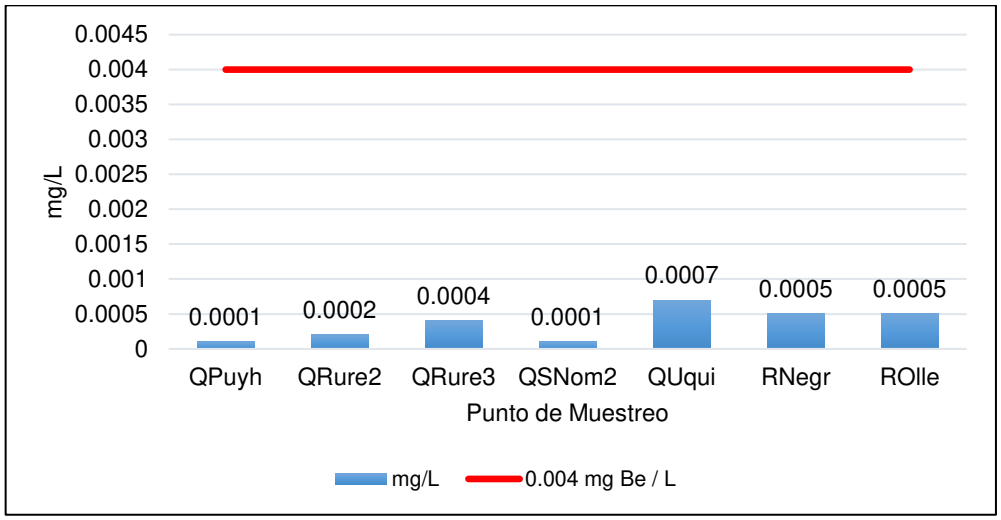


Figura 33. Comparación de Be (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.13 Cadmio

Todos los valores de Cd (mg/L) estuvieron por debajo de 0.005 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2. Asimismo, los valores en QPuyh y QSNom2 estuvieron por debajo del LDA (<0.0002 mg/L).

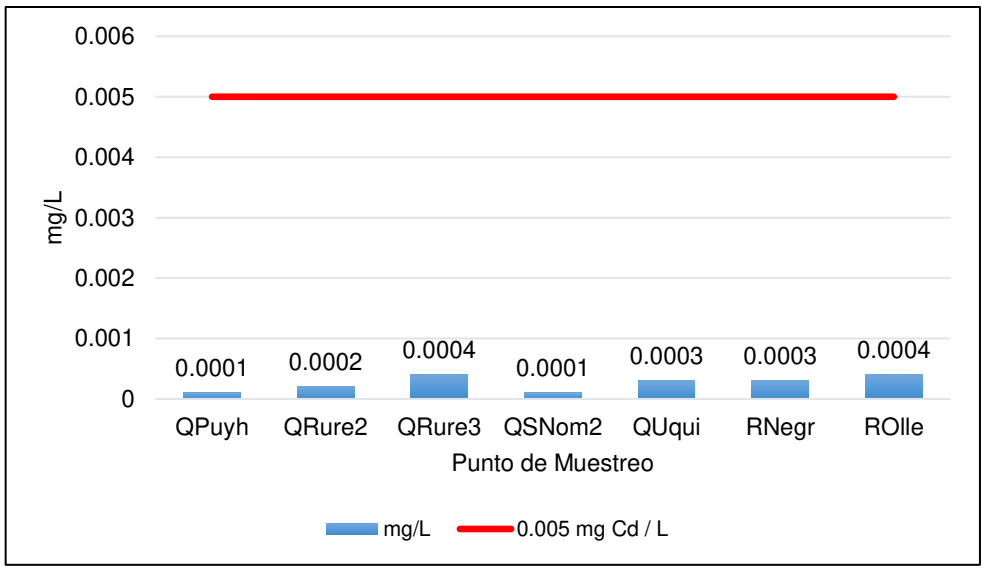


Figura 34. Comparación de Cd (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.14 Cromo

Todos los valores de Cr (mg/L) estuvieron por debajo de 0.05 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2. Asimismo, los valores en QRure2, QRure3, QSNom2, QUqui y RNegr estuvieron por debajo del LDA (<0.001 mg/L).

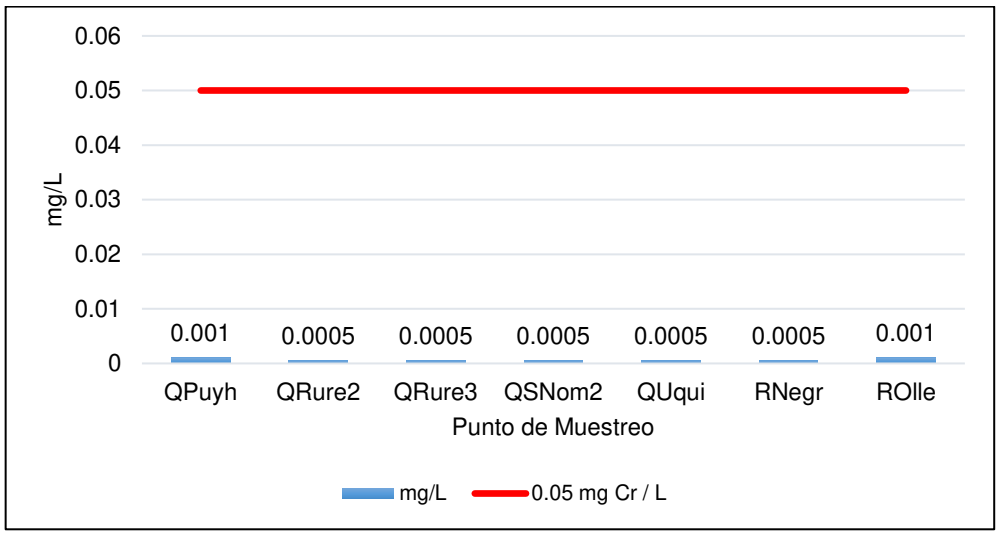


Figura 35. Comparación de Cr (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.15 Cobre

Todos los valores de Cu (mg/L) estuvieron por debajo de 2 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2.

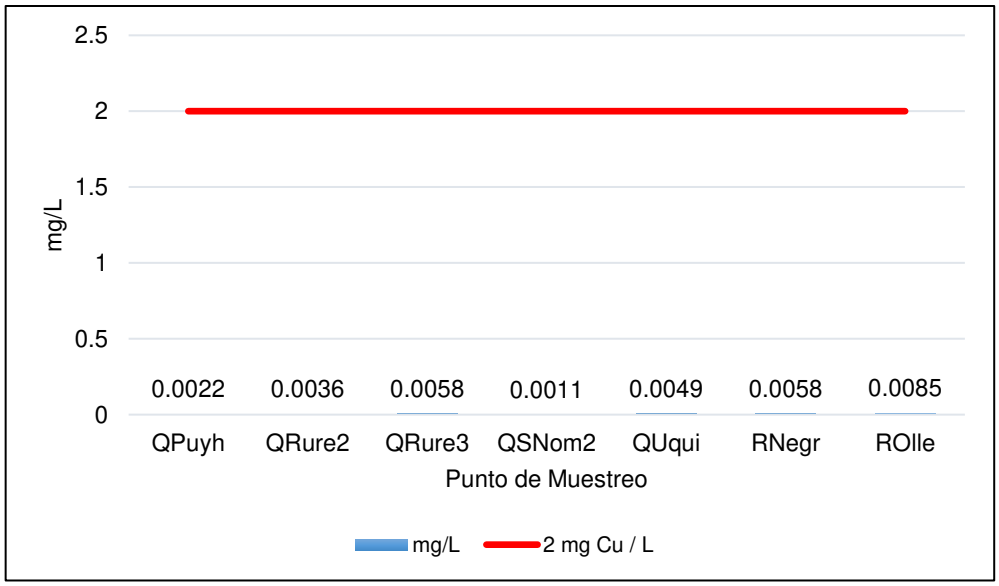


Figura 36. Comparación de Cu (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.16 Manganeso

Los valores de Mn (mg/L) en QPuyh y QSNom2 estuvieron por debajo de 0.4 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2; excepto QRure2, QRure3, QUqui, RNegr y ROlle.

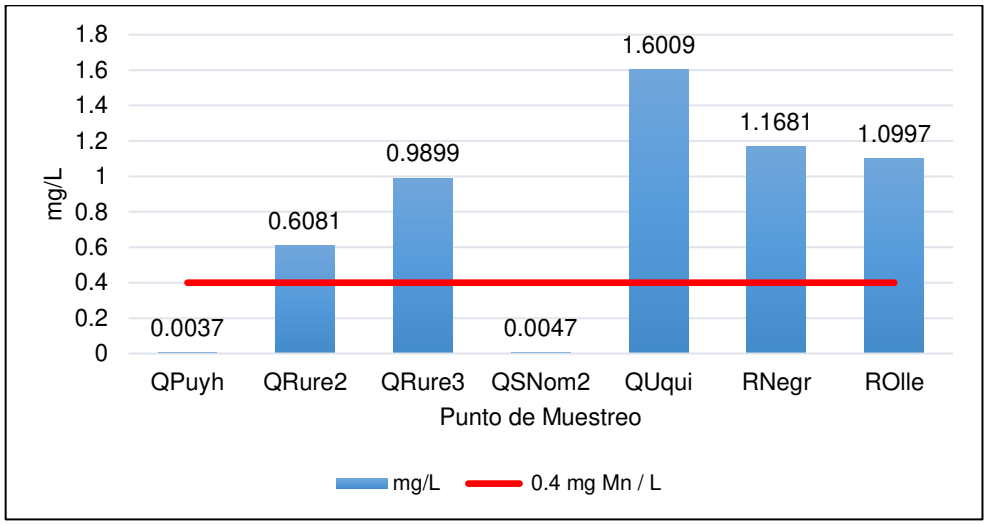


Figura 37. Comparación de Mn (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.17 Plomo

Todos los valores de Pb (mg/L) se encontraron por debajo de 0.05 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2.

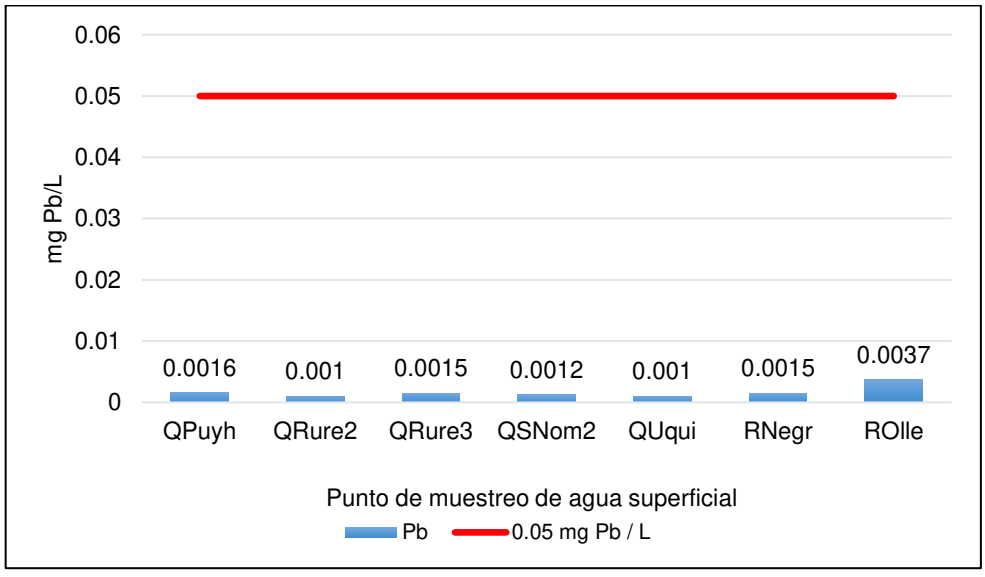


Figura 38. Comparación de Pb (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.18 Uranio

Todos los valores de U (mg/L) estuvieron por debajo de 0.02 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2. Asimismo, los valores en QPuyh y QSNom2 estuvieron por debajo de LDA (<0.002 mg/L).

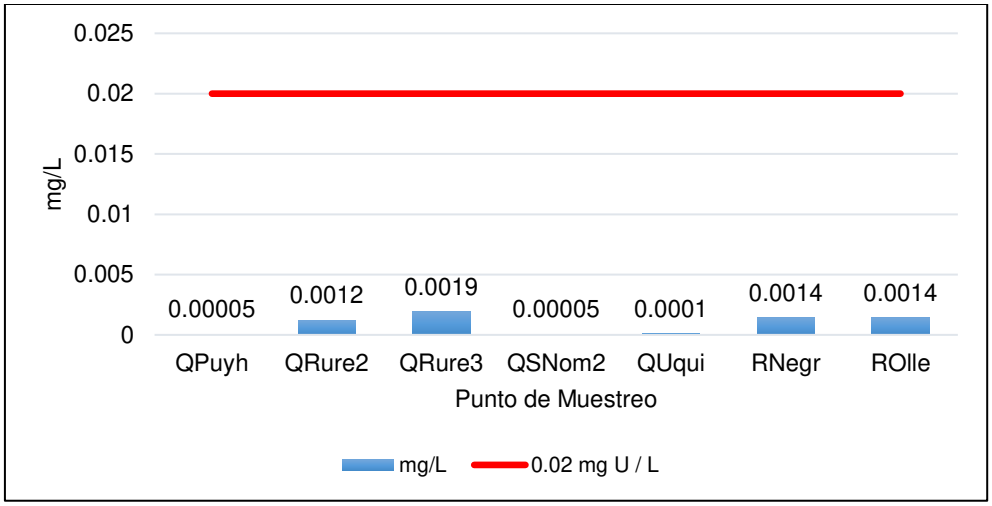


Figura 39. Comparación de U (mg /L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.19 Zinc

Todos los valores de Zn (mg/L) estuvieron por debajo del límite de 5 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2.

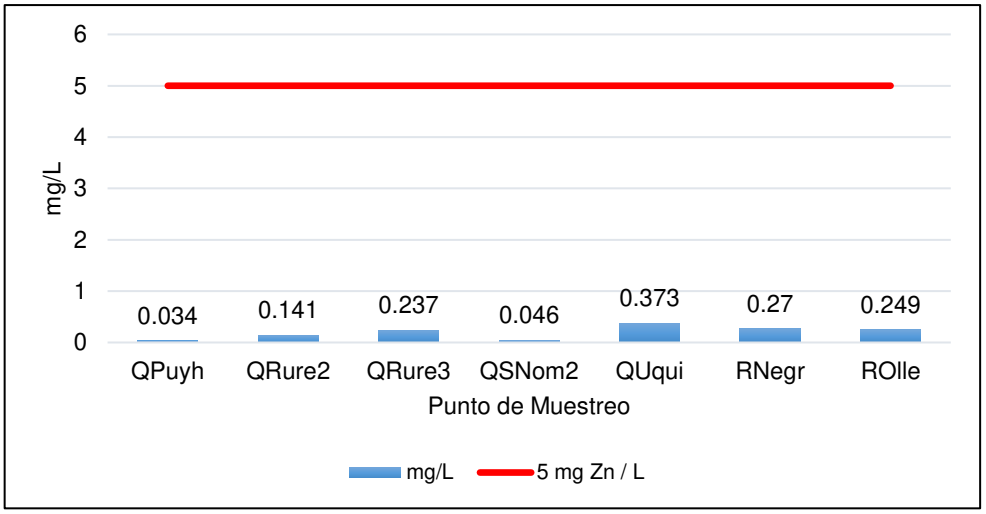


Figura 40. Comparación de Zn (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ1.A2.

V.2.1.20 Antimonio

Todos los valores de Sb (mg/L) estuvieron por debajo de 0.02 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2. Asimismo, los valores en QPuyh,

QRure2, QRure3, QSNom2, QUqui, RNegr y ROlle estuvieron por debajo de LDA (<0.0008 mg/L).

V.2.1.21 Selenio

Todos los valores de Se (mg/L) estuvieron por debajo de 0.004 mg/L, cumplieron el ECA-Categ1.A2. Asimismo, los valores en QPuyh, QRure2, QRure3, QSNom2, QUqui, RNegr y ROlle estuvieron por debajo de LDA (<0.002 mg/L).

V.2.2 Parámetros evaluados con el ECA-Categ.4

V.2.2.1 Potencial de hidrógeno

Los valores de pH de LTara1, LTara2 y LTara3 estuvieron fuera del rango establecido por el ECA-Categ4.E1 (pH: 6.5 - 9). Asimismo, los valores de pH de QOtut, QPuma, QQuil, QRure1, QSNom3, QSNom5 y QSNom7 estuvieron fuera del rango establecido ECA-Categ4.E2 (pH: 6.5 - 9), excepto QArar y QSNom4.

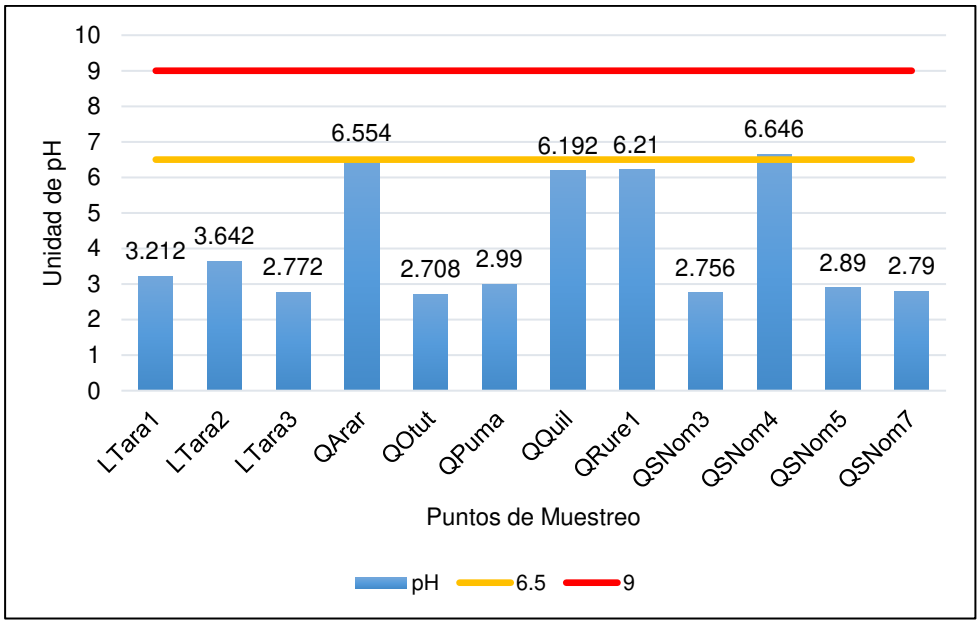


Figura 41. Comparación del pH de puntos de muestreo con el ECA-Categ4.

V.2.2.2 Oxígeno disuelto

Los valores de OD (mg/L) en LTara1, LTara2 y LTara3 fueron mayores a ≥5 mg/L, cumplieron el ECA-Categ4.E1. Asimismo, los valores de oxígeno disuelto para QArar, QOtut, QPuma, QQuil, QRure1,

QSNom3, QSNom4, QSNom5 y QSNom7 fueron mayores a ≥5 mg/L, cumplieron el ECA-Categ4.E2.

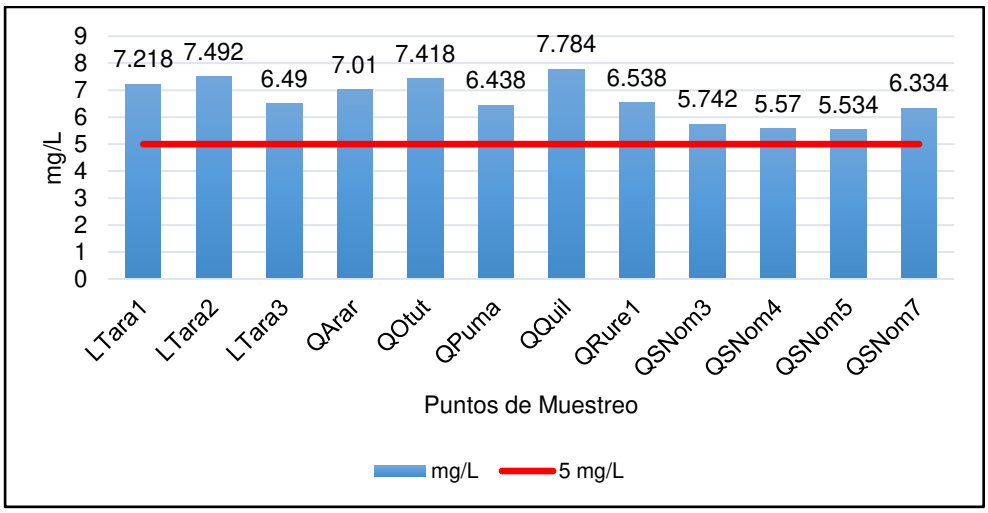


Figura 42. Comparación del OD (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4.

V.2.2.3 Conductividad eléctrica

Los valores de CE (µS/cm) en LTara2 estuvieron por debajo de 1000 µS/cm, cumplió el ECA-Categ4.E1; excepto en LTara1 y LTara3. Asimismo, los valores de CE (µS/cm) en QArar, QQuil, QRurec1 y QSNom4 estuvieron por debajo de 1000 µS/cm, cumplieron el ECA-Categ4.E2, excepto en QOtut, QPuma, QSNom3, QSNom5 y QSNom7.

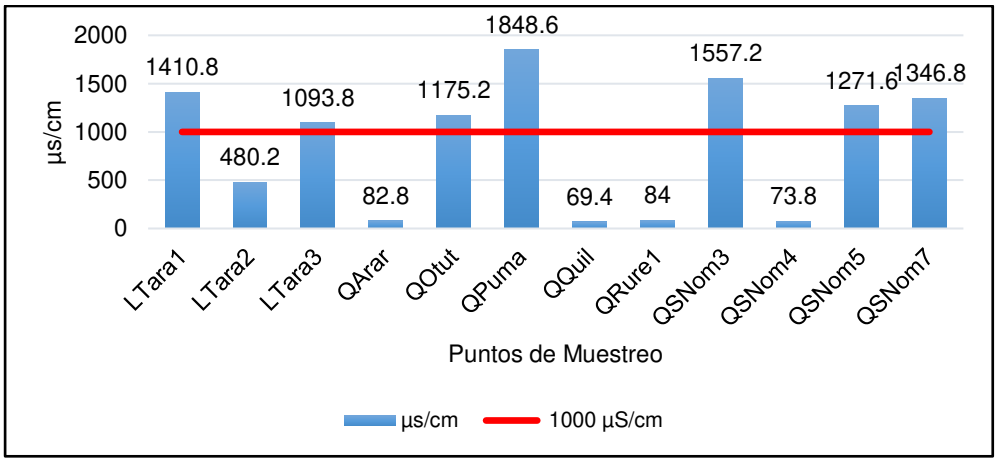


Figura 43. Comparación de CE (µS/cm) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4.

V.2.2.4 Bario

Los valores de Ba (mg/L) en LTara1, LTara2 y LTara3 estuvieron por debajo de 0.7 mg/L, cumplieron el ECA-Categ4.E1. Asimismo, los valores en QArar, QPuma, QQuil, QRure1, QSNom3, QSNom4 y QSNom5, QSNom7 tuvieron valores por debajo de 0.7mg/L, cumplieron el ECA-Categ4.E2.

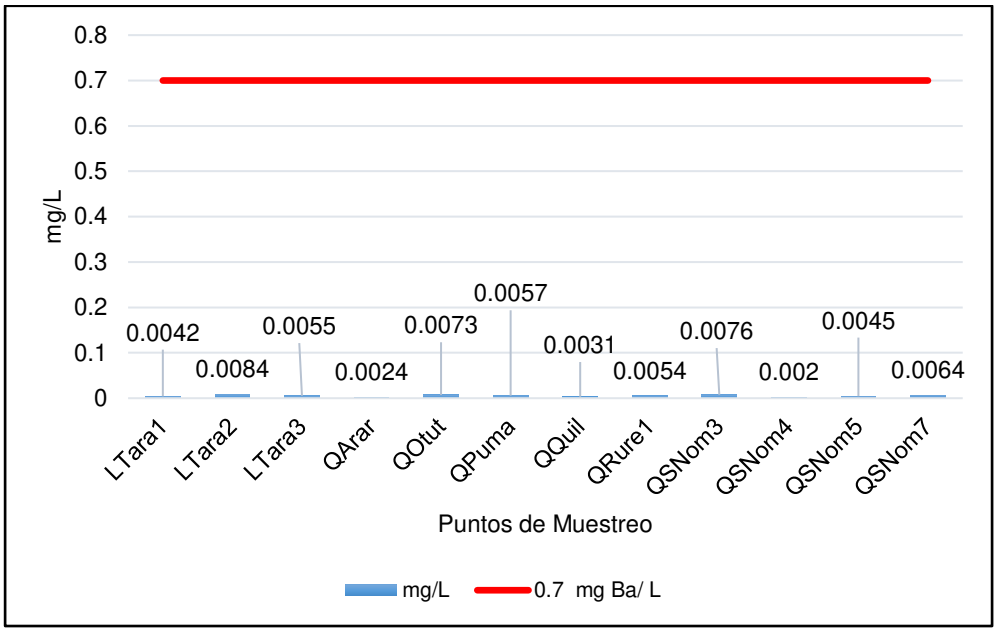


Figura 44. Comparación de Ba (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4.

V.2.2.5 Arsénico

Todos los valores de As estuvieron por debajo de 0.15 mg/L, cumpliendo el ECA-Categ4. Asimismo, los valores en LTara3, QArar, QOtut, QQuil, QSNom3, QSNom4, QSNom5 y QSNom7 estuvieron por debajo del LDA (<0.001 mg/L)

V.2.2.6 Cobre

Los valores de Cu (mg/L) en LTara1, LTara2 y LTara3 estuvieron por debajo de 0.1 mg/L, cumplieron el ECA-Categ4.E1. Asimismo, QArar, QPuma, QQuil, QRure1, QSNom3, QSNom4 y QSNom5, QSNom7 tuvieron valores por debajo de 0.1mg/L, cumplieron con el ECA-Categ4.E2.

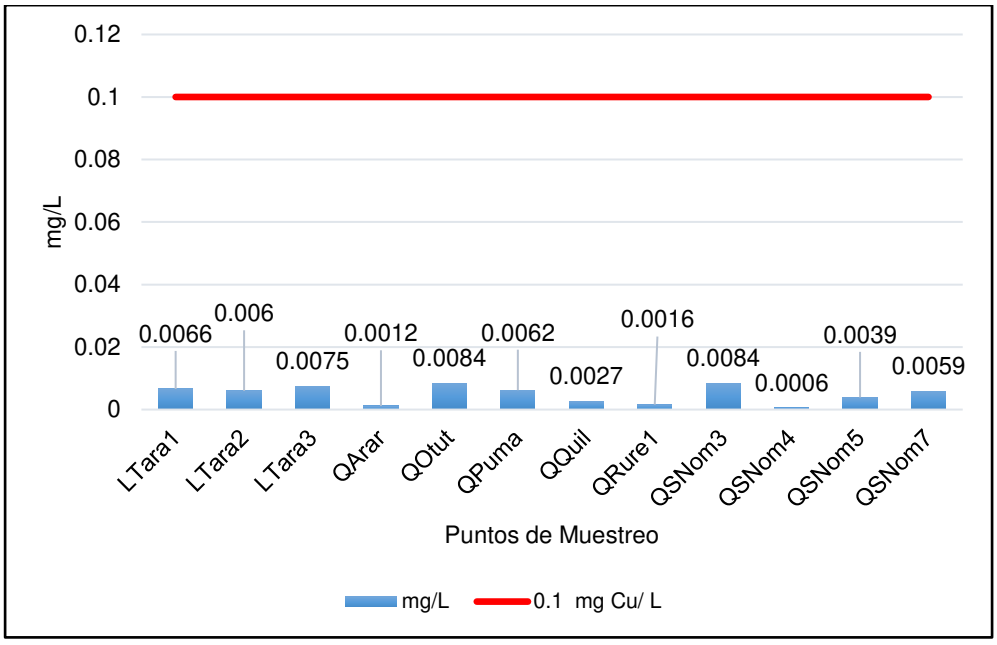


Figura 45. Comparación de Cu (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4.

V.2.2.7 Níquel

El valor de Ni (mg/L) en LTara2 fue menor a 0.052 mg/L, cumplieron el ECA-Categ4.E1, excepto LTara1 y LTara3. Asimismo, los valores de Ni en QArar, QQuil, RRure1 y QSNom4 estuvieron por debajo de 0.052 mg/L, cumplieron el ECA-Categ4.E2, excepto en QOtut, QPuma, QSNom3, QSNom5, QSNom7.

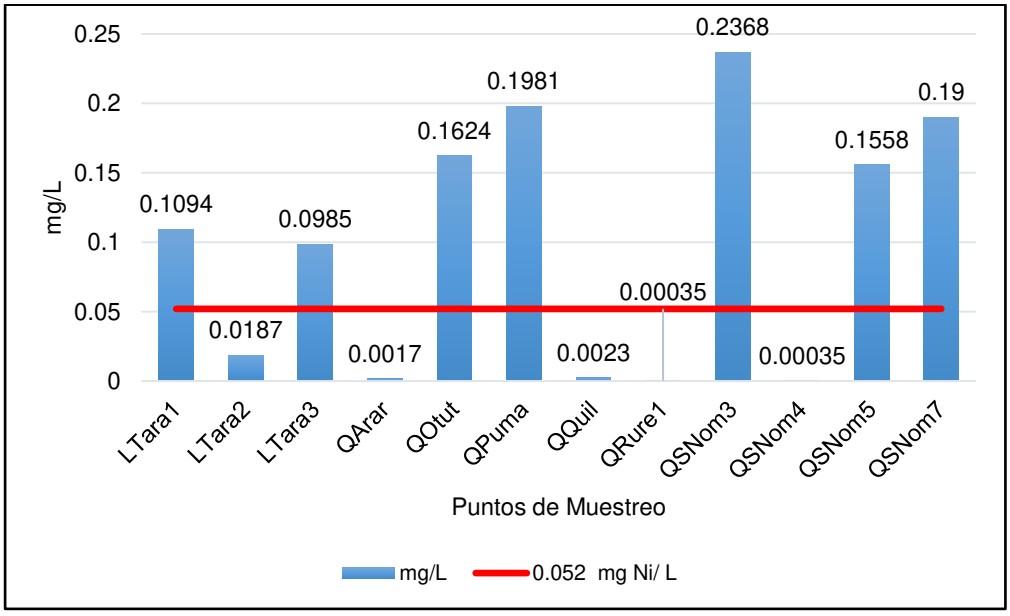


Figura 46. Comparación de Ni (mg /L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4.

V.2.2.8 Antimonio

Todos los puntos de Sb estuvieron por debajo de 0.64 mg/L, cumplieron el ECA-Categ4. Asimismo, todos los valores de estuvieron por debajo del LDA (<0.0008 mg/L).

V.2.2.9 Plomo

El valor de Pb en LTara3 estuvo por debajo de 0.0025 mg/L, cumplió con el ECA-Categ4.E1, excepto en LTara1 y LTara2. Asimismo, los puntos QArar, QOtut, QPuma, QQuil, QRure1, QSNom3, QSNom4, QSNom5 y QSNom7 estuvieron por debajo de 0.0025 mg/L, cumplieron el ECA-Categ4.E2.

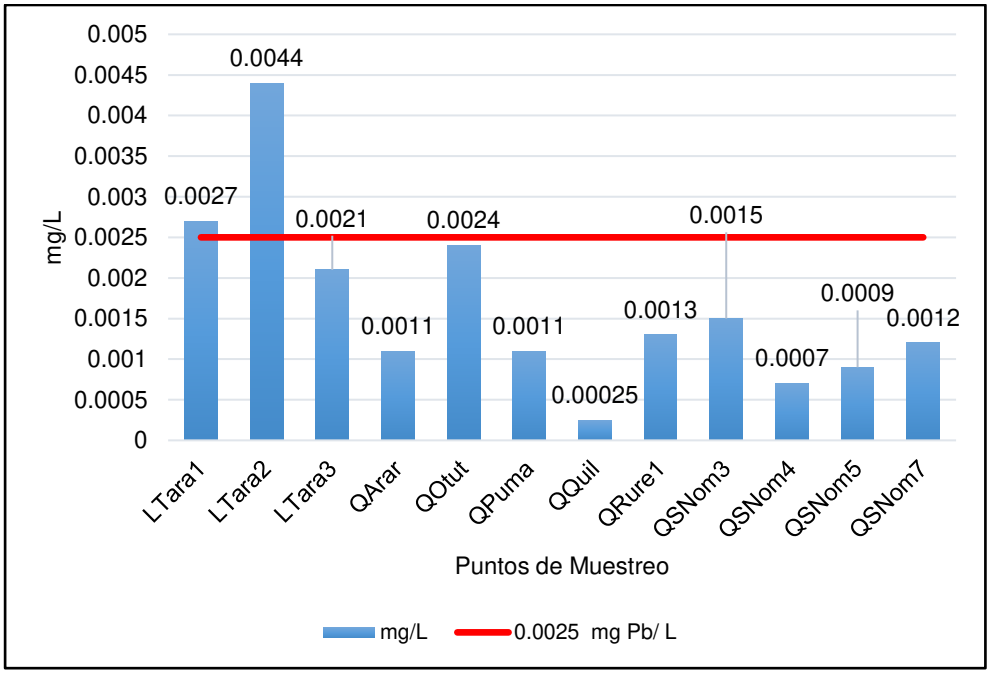


Figura 47. Comparación de Pb (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4.

V.2.2.10 Selenio

Todos los valores de Se estuvieron por debajo de 0.005 mg/L, cumplieron el ECA-Categ4. Asimismo, los valores estuvieron por debajo del LDA (<0.0002 mg/L).

V.2.2.11 Talio

Todos los valores de Tl estuvieron por debajo de 0.0008 mg/L, cumplieron el ECA-Categ4. Asimismo, los valores estuvieron por debajo del LDA (<0.0001 mg/L).

V.2.2.12 Zinc

Los valores de Zn en LTara1, LTara2 y LTara3 superaron el valor de 0.12 mg/L establecido por el ECA-Categ4.E1. Por otro lado, los valores de Zn en QOtut, QPuma, QSNom3, QSNom5 y QSNom7 fueron mayor a 0.12 mg/L, establecido por el ECA-Categ4.E2, excepto en QArar, QQuil, QRure1 y QSNom4.

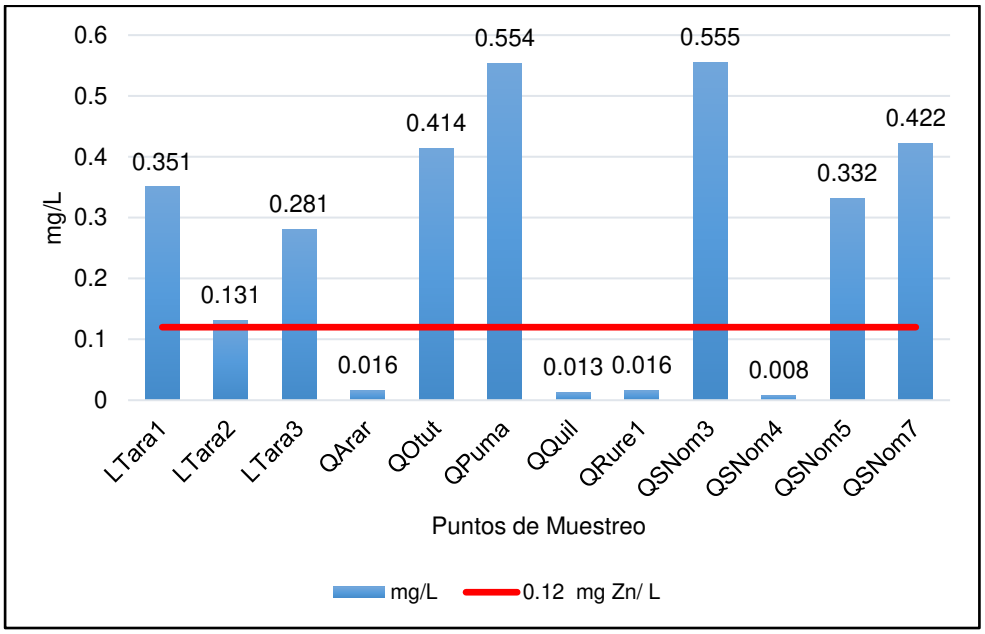


Figura 48. Comparación de Zn (mg/L) de puntos de muestreo con el ECA-Categ4.

V.3 Resultados de la evaluación del grado de contaminación

El promedio de HPI de la subcuenca del río Negro fue 360.959, categorizando una contaminación alta. Los puntos de muestreo con mayor HPI fueron QPuma (1 627.805), QSNom3 (853.902) y QUqui (705.203) y los puntos con menor HPI fueron QQuil (4.847), QArar (12.161) y QRure1 (12.311).

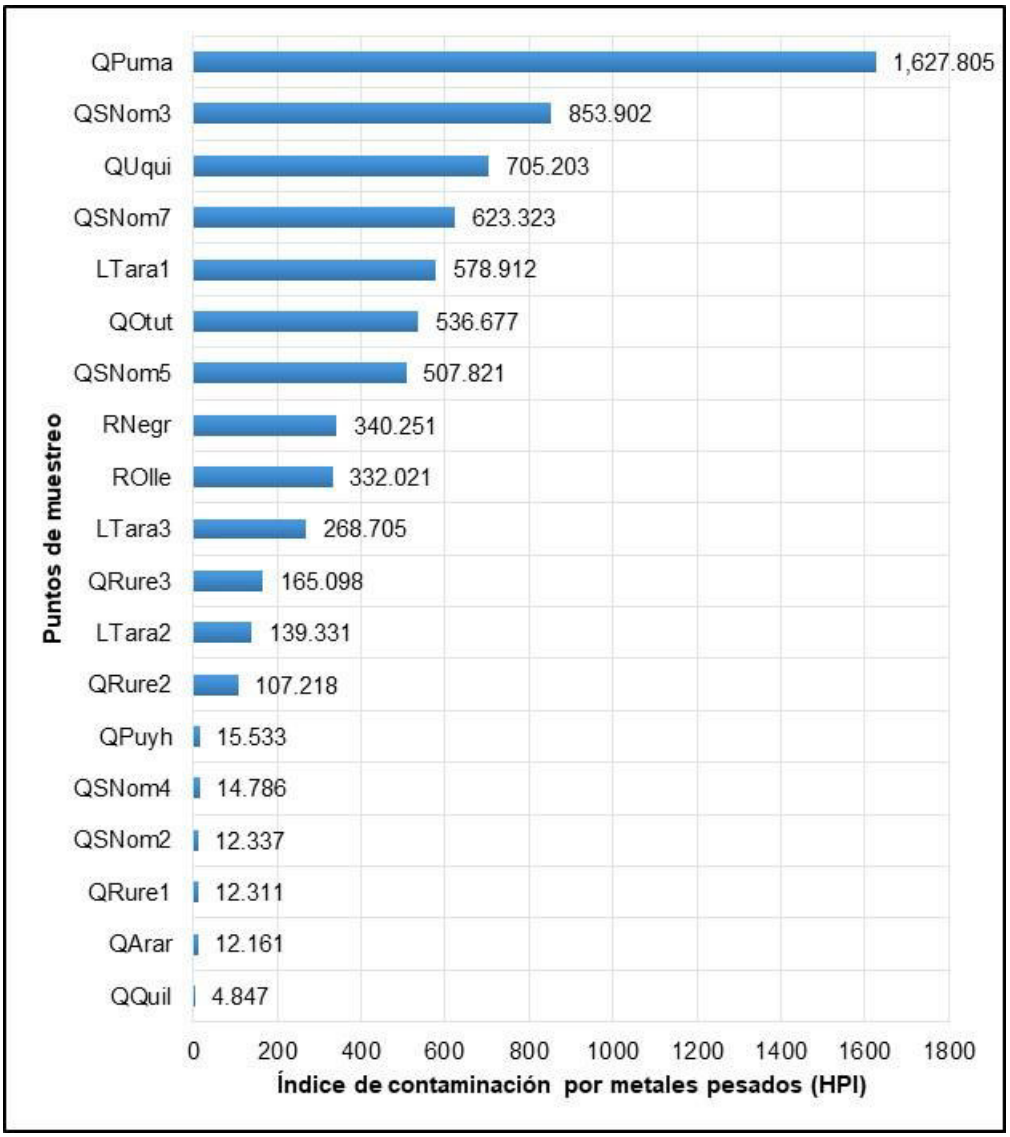


Figura 49. Gráfico de barras de HPI.

Los puntos de muestreo QQuil, QArar, QRure1, QSNom2, QSNom4 y QPuyh fueron categorizados con contaminación baja ; QRure2 y LTara2 fueron categorizadas con contaminación media y QRure3, LTara3, ROlle, RNegr, QSNom5, QOtut, LTara1, QSNom7, QUqui, QSNom3 y QPuma fueron categorizadas con contaminación alta. La contaminación alta representó el

58%, la contaminación media 10% y contaminación baja 32% de los puntos de muestreo de agua superficial.

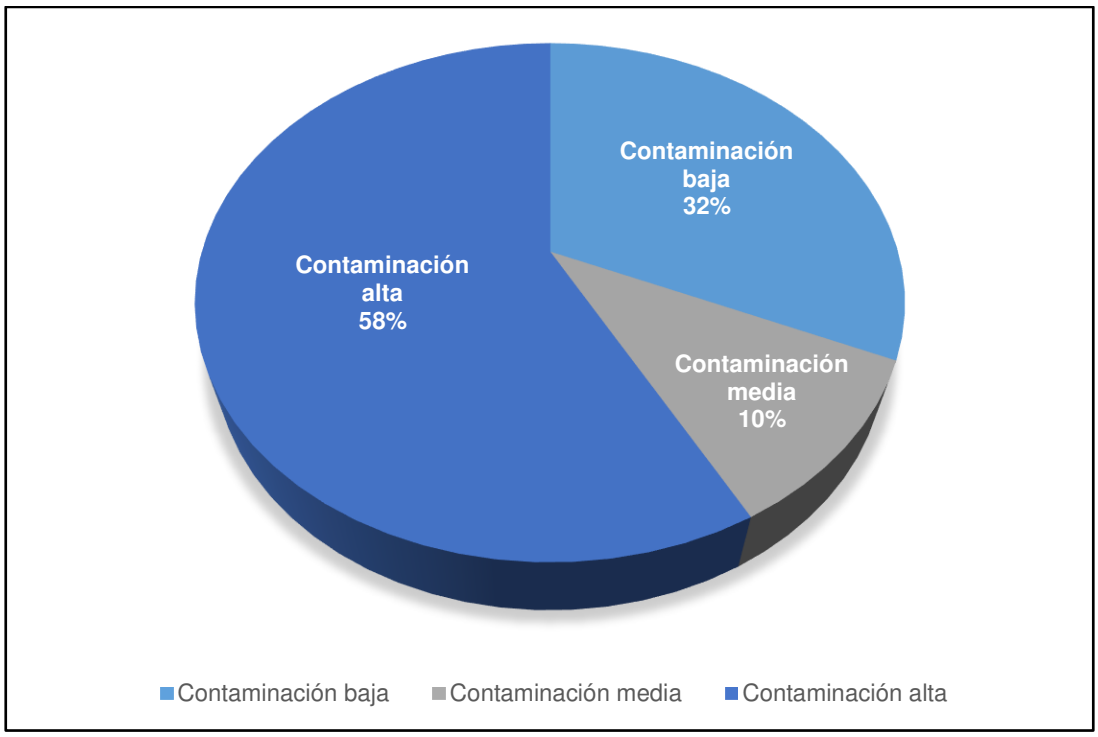


Figura 50. Gráfico circular de categorización de HPI.

V.4 Determinación de las fuentes contaminantes

V.4.1 Análisis de componentes principales

V.4.1.1 Prueba de normalidad multivariada

La prueba de normalidad multivariada de Shapiro-Wilk para los parámetros de pH, CE, TDS, salinidad, $SO_4^=$, Fe, S, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn tuvo un p-valor de 2.161×10^{-8}; por lo tanto, no existe normalidad multivariada.

Tabla 17. Prueba de normalidad multivariada.

Prueba de normalidad multivariada de Shapiro-Wilk	
Data: Z	
W = 0.3285	p-valor = 2.088×10^{-8}

Prueba de normalidad multivariada de Shapiro-Wilk
Nivel de significancia α=0.05
H_0: Existe distribución normal multivariada.
H_1: No existe distribución normal multivariada

V.4.1.2 Análisis correlacional

La determinante de la matriz fue 1.953×10^{-27}, cercano al 0; por lo que las variables analizadas son probablemente linealmente dependientes. La categorización de la correlación fue la siguiente; el 66.667% (52) tuvo correlación muy alta , el 21.79% (17) tuvo una correlación alta; el 8.97% (7) tuvo correlación moderada y el 2.56% (2) tuvo una correlación baja. Asimismo, el 97.43% (76) de las correlaciones tuvieron p-valor menor que el nivel de significancia (α=0.05), por lo que existe evidencia estadística que existe correlación entre las variables; por otro lado, el 2.57% (2) de las correlaciones tuvieron p-valor mayor que el α=0.05, por lo que existe evidencia estadística que no existe correlación entre las variables.

Tabla 18. Matriz de correlaciones.

Correlaciones[c]														
		pH	**EC**	**TDS**	**Salinidad**	**$SO_4^=$**	**Fe**	**S**	**Li**	**Al**	**Co**	**Mn**	**Ni**	**Zn**
pH	**Correlación de Pearson**	1	-,896**	-,896**	-,890**	-,792**	-,523*	-,787**	-,385	-,800**	-,719**	-,800**	-,797**	-,832**
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000	,000	,022	,000	,104	,000	,001	,000	,000	,000
EC	**Correlación de Pearson**	-,896**	1	1,000**	1,000**	,967**	,804**	,961**	,501*	,907**	,800**	,879**	,939**	,970**
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,029	,000	,000	,000	,000	,000
TDS	**Correlación de Pearson**	-,896**	1,000**	1	1,000**	,967**	,804**	,961**	,500*	,906**	,800**	,879**	,938**	,969**
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,029	,000	,000	,000	,000	,000
Salinidad	**Correlación de Pearson**	-,890**	1,000**	1,000**	1	,970**	,812**	,964**	,503*	,909**	,801**	,879**	,942**	,971**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,028	,000	,000	,000	,000	,000
$SO_4^=$	**Correlación de Pearson**	-,792**	,967**	,967**	,970**	1	,920**	,989**	,450	,858**	,705**	,797**	,901**	,947**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,053	,000	,001	,000	,000	,000
Fe	**Correlación de Pearson**	-,523*	,804**	,804**	,812**	,920**	1	,922**	,363	,720**	,518*	,609**	,772**	,824**
	Sig. (bilateral)	,022	,000	,000	,000	,000		,000	,127	,001	,023	,006	,000	,000
S	**Correlación de Pearson**	-,787**	,961**	,961**	,964**	,989**	,922**	1	,498*	,899**	,749**	,837**	,932**	,971**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,030	,000	,000	,000	,000	,000
Li	**Correlación de Pearson**	-,385	,501*	,500*	,503*	,450	,363	,498*	1	,645**	,722**	,706**	,648**	,601**
	Sig. (bilateral)	,104	,029	,029	,028	,053	,127	,030		,003	,000	,001	,003	,007
Al	**Correlación de Pearson**	-,800**	,907**	,906**	,909**	,858**	,720**	,899**	,645**	1	,952**	,979**	,990**	,962**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,001	,000	,003		,000	,000	,000	,000
Co	**Correlación de Pearson**	-,719**	,800**	,800**	,801**	,705**	,518*	,749**	,722**	,952**	1	,985**	,933**	,869**
	Sig. (bilateral)	,001	,000	,000	,000	,001	,023	,000	,000	,000		,000	,000	,000
Mn	**Correlación de Pearson**	-,800**	,879**	,879**	,879**	,797**	,609**	,837**	,706**	,979**	,985**	1	,969**	,934**

	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,006	,000	,001	,000	,000		,000	,000
Ni	**Correlación de Pearson**	-,797**	,939**	,938**	,942**	,901**	,772**	,932**	,648**	,990**	,933**	,969**	1	,982**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,003	,000	,000	,000		,000
Zn	**Correlación de Pearson**	-,832**	,970**	,969**	,971**	,947**	,824**	,971**	,601**	,962**	,869**	,934**	,982**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,007	,000	,000	,000	,000	

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

c. N por listas=19

Determinante = 1.953×10^{-27}

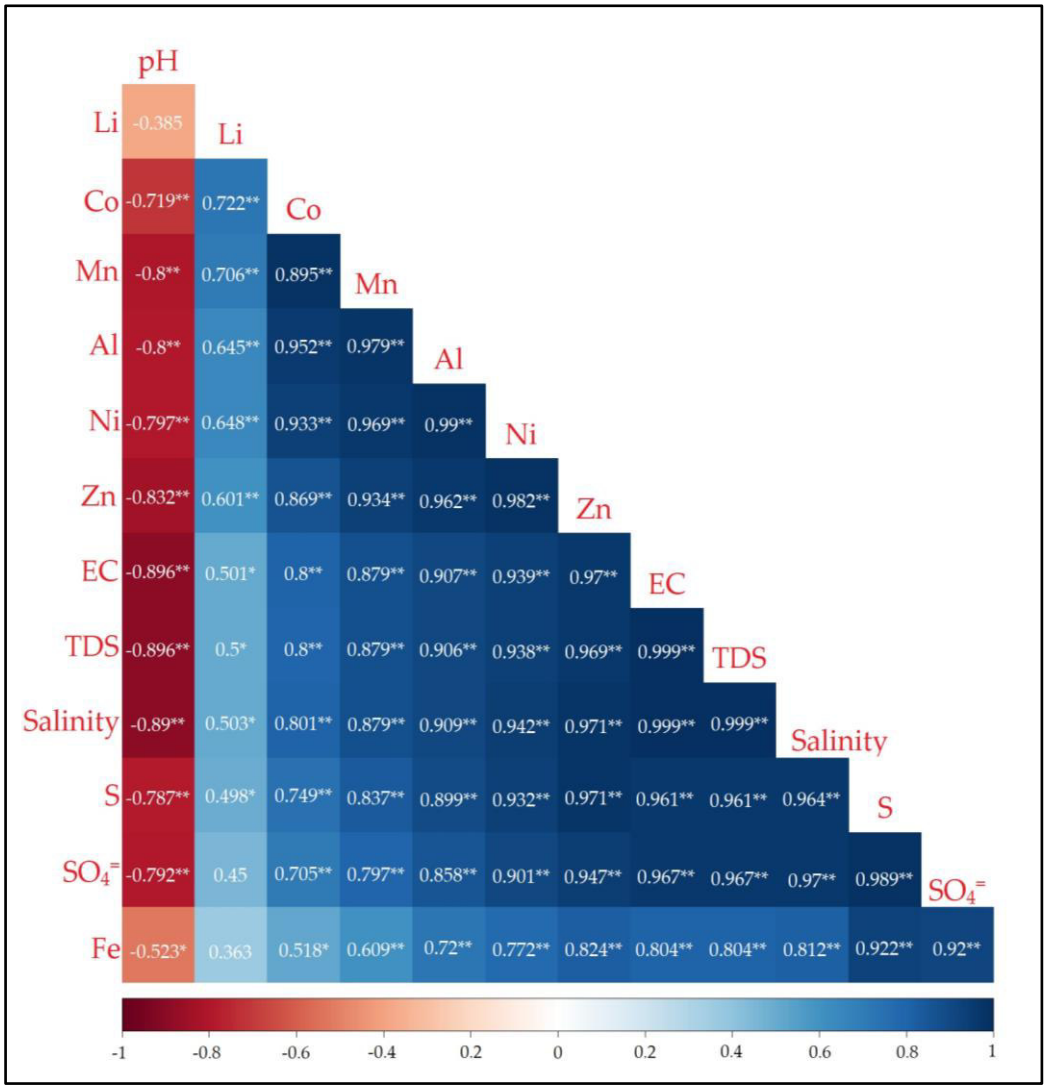


Figura 51. Coeficientes de correlación de metales (Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn) y parámetros *in situ* (pH, EC y TDS) del agua superficial de la subcuenca del río Negro; (*) correlación significativa a $p < 0.05$ (bilateral) y (**) correlación significativa a $p < 0.01$ (bilateral).

V.4.1.3 Factibilidad de datos

La medida de Kaiser-Meyer-Olkin fue 0.812675, por lo tanto, existe una aceptable adecuación muestral, indicando que fue adecuado realizar el análisis de componentes principales (PCA, en sus siglas en inglés).

La prueba de esfericidad de Bartlett tuvo un p-valor de 3.9437×10^{-118}, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) de igualdad de matrices de identidad (I) y correlaciones (R); en otras palabras, fue adecuado realizar PCA.

Tabla 19. Prueba de esfericidad de Bartlett y KMO.

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0.812675
Prueba de esfericidad de Bartlett*	Aprox. Chi-cuadrado	789.254971
	gl	78
	Sig.	3.9437×10^{-118}

*Prueba de esfericidad de Bartlett
Nivel de significancia α=0.05
H_0: R = I, existe igualdad entre la matriz de identidad y matriz de correlación.
H_1: R ≠ I no existe igualdad entre la matriz de identidad y matriz de correlación

Tabla 20. Matriz de correlación anti-imagen.

		pH	CE	TDS	Salinidad	$SO_4^=$	Fe	S	Li	Al	Co	Mn	Ni	Zn
Correlación anti-imagen	pH	,760[a]	-0.542	0.414	0.315	0.492	-0.751	-0.099	0.097	0.808	-0.416	0.160	-0.147	0.094
	CE	-0.542	,808[a]	-0.887	-0.268	-0.474	0.416	0.217	-0.045	-0.656	0.151	0.018	0.283	-0.385
	TDS	0.414	-0.887	,830[a]	-0.204	0.323	-0.234	-0.164	0.212	0.636	0.049	-0.233	-0.314	0.415
	Salinidad	0.315	-0.268	-0.204	,917[a]	0.252	-0.372	-0.073	-0.328	0.085	-0.392	0.429	-0.018	-0.072
	$SO_4^=$	0.492	-0.474	0.323	0.252	,794[a]	-0.569	-0.629	-0.070	0.519	-0.623	0.364	0.381	0.233
	Fe	-0.751	0.416	-0.234	-0.372	-0.569	,786[a]	-0.186	-0.217	-0.580	0.180	0.127	0.034	-0.213
	S	-0.099	0.217	-0.164	-0.073	-0.629	-0.186	,831[a]	0.301	-0.224	0.739	-0.663	-0.501	-0.081
	Li	0.097	-0.045	0.212	-0.328	-0.070	-0.217	0.301	,790[a]	0.317	0.368	-0.548	-0.303	0.217
	Al	0.808	-0.656	0.636	0.085	0.519	-0.580	-0.224	0.317	,786[a]	-0.237	-0.066	-0.334	0.358
	Co	-0.416	0.151	0.049	-0.392	-0.623	0.180	0.739	0.368	-0.237	,729[a]	-0.910	-0.653	0.353
	Mn	0.160	0.018	-0.233	0.429	0.364	0.127	-0.663	-0.548	-0.066	-0.910	,773[a]	0.594	-0.528
	Ni	-0.147	0.283	-0.314	-0.018	0.381	0.034	-0.501	-0.303	-0.334	-0.653	0.594	,846[a]	-0.438
	Zn	0.094	-0.385	0.415	-0.072	0.233	-0.213	-0.081	0.217	0.358	0.353	-0.528	-0.438	,891[a]

a. Medidas de adecuación de muestreo (MSA)

La medida de adecuación de muestreo (MSA), tuvo valores entre 0.729 y 0.917; todas las variables tuvieron MSA mayor a 0.7. El orden de la medida de MSA de los parámetros fueron salinidad< Zn< Ni< S< TDS< CE< $SO_4^=$< Li< Fe< Al< Mn< pH< Co. Los valores fueron cercanos a 1, por lo que fue adecuado realizar PCA.

V.4.1.4 Componentes principales

a) Extracción de factores

La cantidad de componentes extraídas dos (02) componentes, el primero con 11.036 explicando el 84.896% de la varianza y el segundo 1.074 explicando el 8.259% de la varianza. La suma de las varianzas explicadas de las componentes 1 y 2 suman 93.155%, siendo mayor al 80% recomendado.

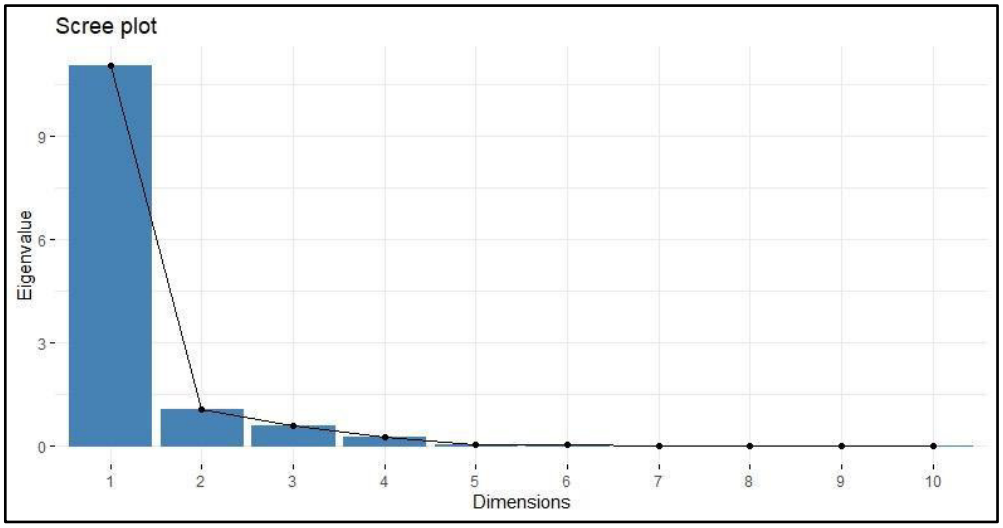


Figura 52. Gráfico de sedimentación de autovalores.

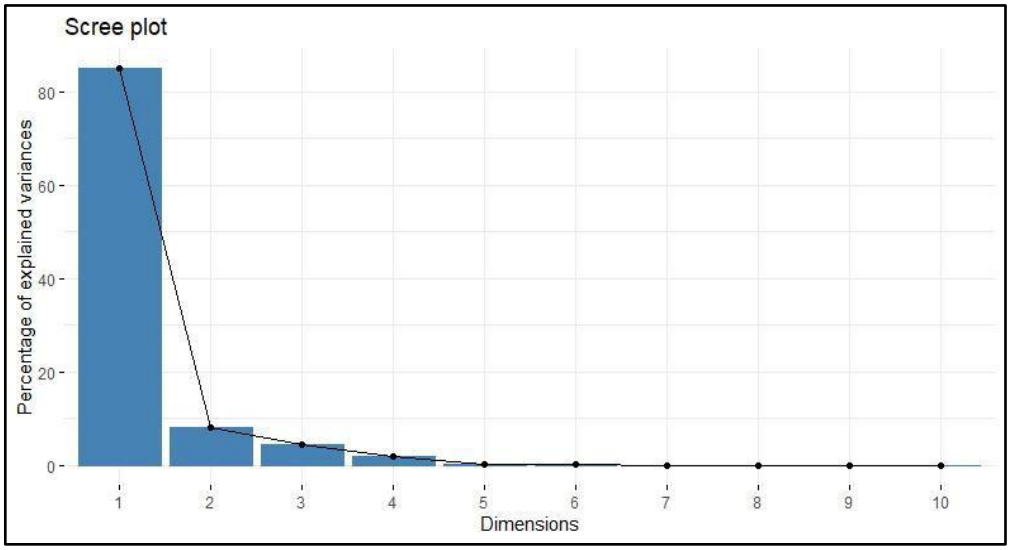


Figura 53. Gráfico de sedimentación del porcentaje de varianza explicada.

Tabla 21. Varianza total explicada.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	11.036	84.896	84.896	11.036	84.896	84.896
2	1.074	8.259	93.155	1.074	8.259	93.155
3	0.568	4.371	97.526			
4	0.248	1.905	99.431			
5	0.045	0.350	99.781			
6	0.014	0.111	99.891			
7	0.009	0.069	99.960			
8	0.002	0.015	99.975			
9	0.002	0.014	99.989			
10	0.001	0.009	99.998			
11	0.000	0.002	100.000			
12	3.455E-05	0.000	100.000			
13	6.375E-06	4.904E-05	100.000			

Método de extracción: análisis de componentes principales.

b) Comunalidades

Las comunalidades después de la extracción de las componentes indicaron las proporciones de la varianza explicada por cada componente. La varianza explicada después de la extracción de las componentes de pH (73.5%), CE (98.0%), TDS (98.0%), salinidad (98.3%), $SO_4^=$ (98.1%), Fe (81.6%), S (97.9%), Li (79.5%), Al (96.2%), Co (95.1%), Mn (97.6%), Ni (98.9%) fueron mayores a 60%.

Tabla 22. Comunalidades.

	Inicial	Extracción
pH	1.000	0.735
CE	1.000	0.980
TDS	1.000	0.980
salinidad	1.000	0.983
$SO_4^=$	1.000	0.981
Fe	1.000	0.816
S	1.000	0.979
Li	1.000	0.795
Al	1.000	0.962
Co	1.000	0.951
Mn	1.000	0.976
Ni	1.000	0.982
Zn	1.000	0.989

Método de extracción: análisis de componentes principales.

c) Componentes principales

La primera componente (PC1) tuvo una correlación muy alta con el pH, CE, TDS, salinidad, $SO_4^=$, Fe, S, Al, Co, Mn, Ni, Zn y correlación alta con Li. La segunda componente (PC2) estuvo correlacionada con Li y medianamente con Fe y Co.

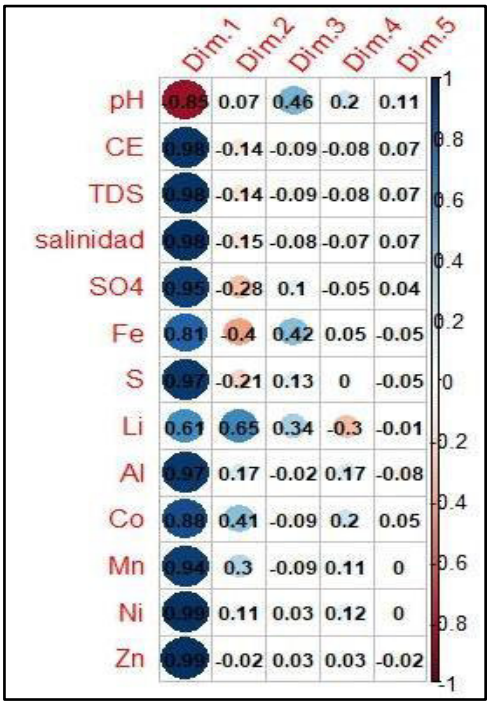


Figura 54. Correlación de variables con las componentes principales.

Tabla 23. Matriz de componente.

	Componente	
	1	**2**
pH	-0.854	0.073
CE	0.980	-0.144
TDS	0.979	-0.145
salinidad	0.981	-0.145
$SO_4^=$	0.949	-0.283
Fe	0.808	-0.403
S	0.966	-0.214
Li	0.614	0.646
Al	0.967	0.165
Co	0.882	0.415
Mn	0.942	0.297
Ni	0.985	0.106
Zn	0.994	-0.017

Método de extracción: análisis de componentes principales.
a. 2 componentes extraídos.

Las dos componentes explicaron el 93.155% de variabilidad; en el gráfico de cargas (score plot, en inglés) la métrica cos^2 indicó que las observaciones 9 (QRure1), 17 (QUqui), 8 (QQuil), 12 (QSNom2), 4 (QArar), 14 (QSNom4), 7 (QPuyh), 13 (QSNom3), 15 (QSNom5), 6 (QPuma), 1 (LTara1), 16 (QSNom7), 5 (QOtut) y 2 (LTara2) estuvieron entre 0.75 a 1; 18 (RNegr) estuvo entre 0.5 a 0.75; 3 (LTara3) , 10 (QRure2), 19 (ROlle) entre 0.25 a 0.5 y 11 (QRure3) menor a 0.25

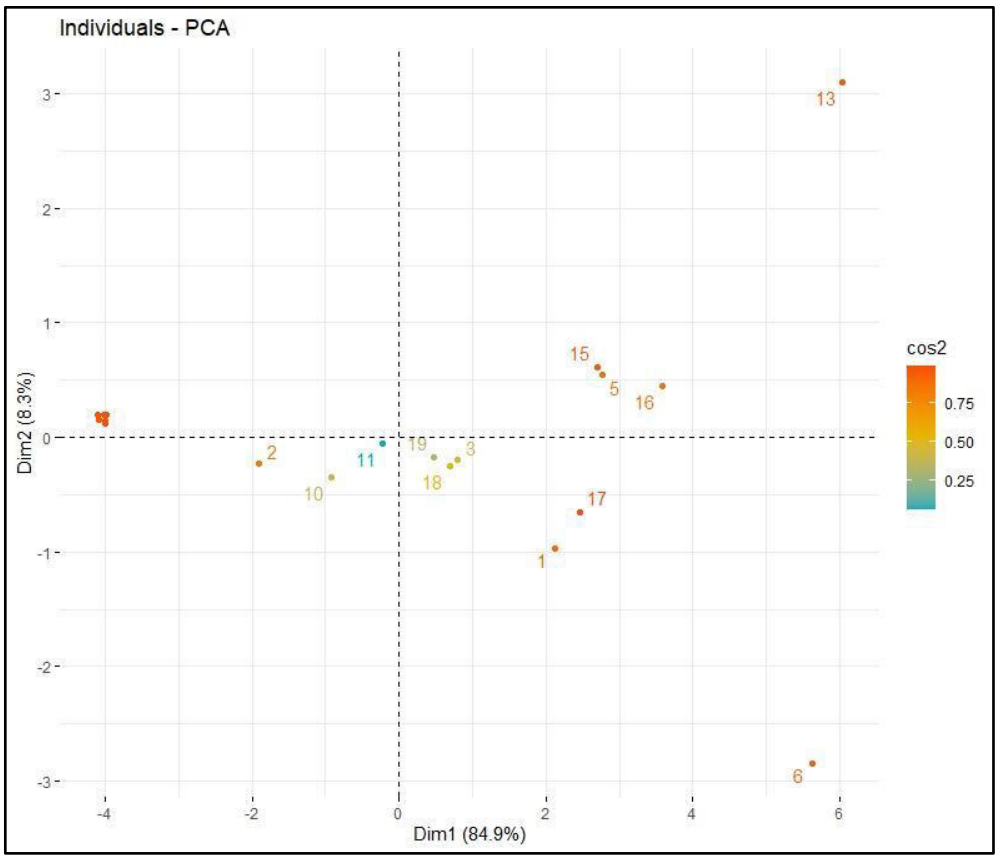


Figura 55. Score plot de los puntos de muestreo de agua de la subcuenca del río Negro.

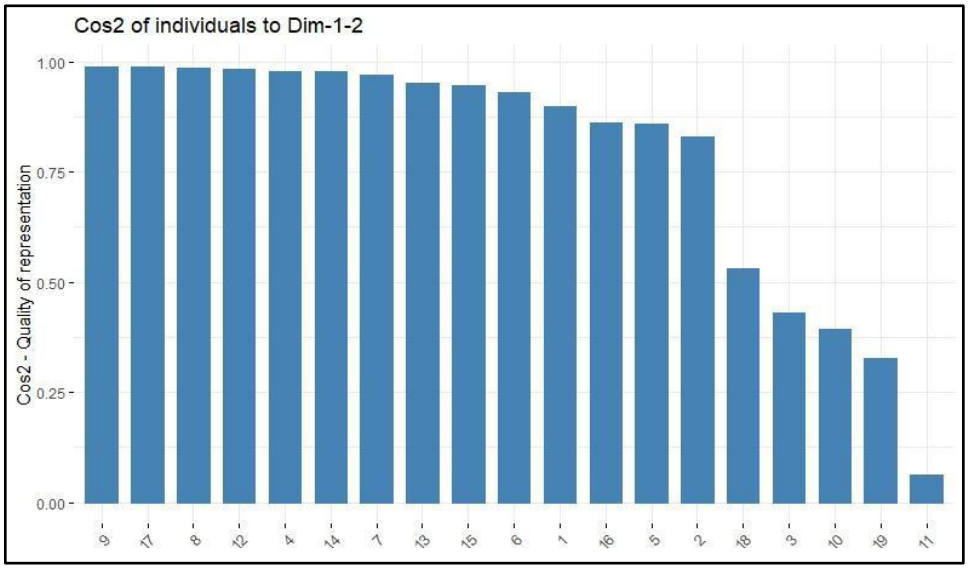


Figura 56. Calidad de representación de los puntos de muestreo de agua.

Las variables CE, TDS, salinidad, S, $SO_4^=$, Zn, Ni, Al, Mn, Co y Fe contribuyeron de forma positiva y el pH de forma negativa a la PC1. La variable Li contribuyó de forma positiva a la PC1 y PC2.

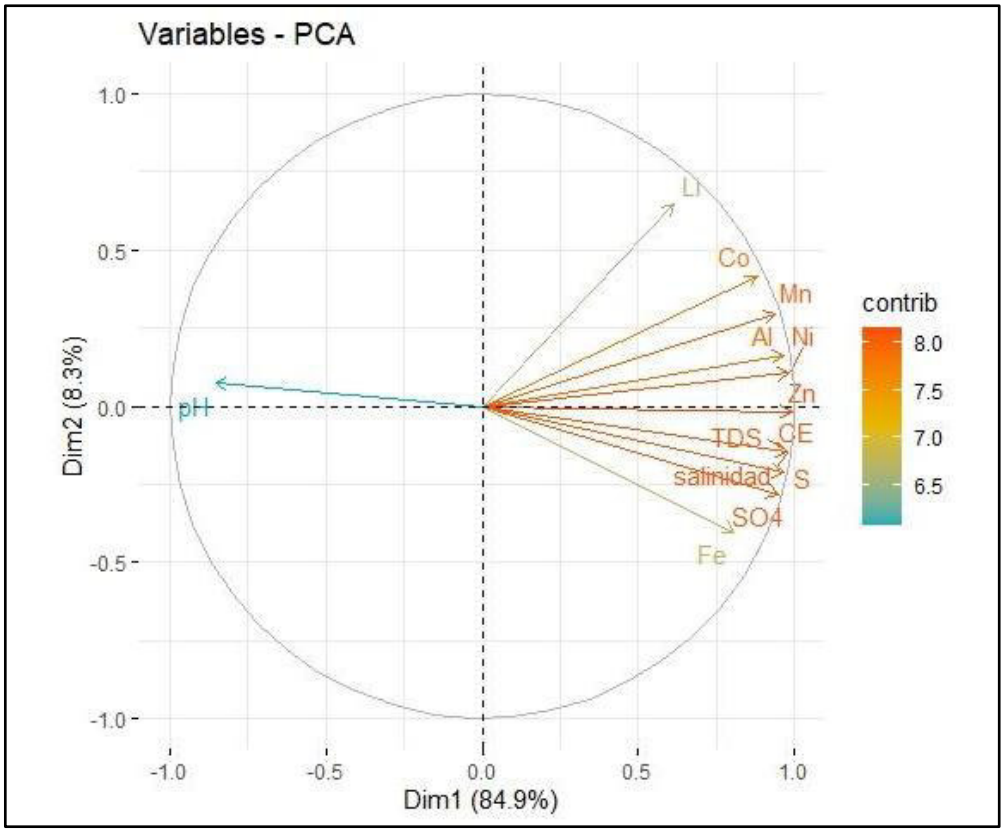


Figura 57. Loading plot de variables de metales y parámetros in situ.

Las variables que más contribuyeron a la PC1 y PC2 se encontraron en el siguiente orden: Zn > salinidad > Ni > $SO_4^=$ > CE > TDS > S > Mn > Al > Co > Fe > Li > pH.

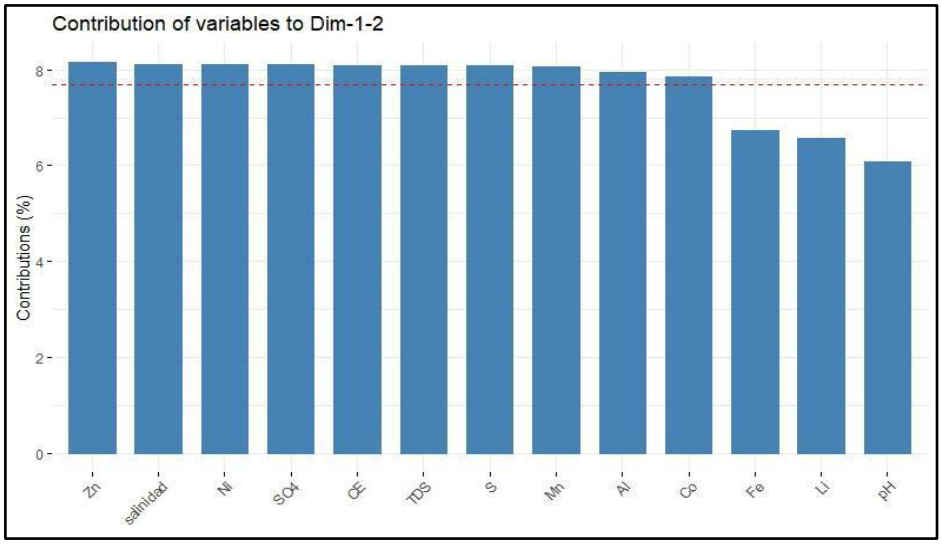


Figura 58. Contribución de las variables a la PC1 y PC2.

Las variables que contribuyeron en porcentaje a la primera dimensión se ubicaron en el siguiente orden: Zn(8.957%) > Ni(8.799%) > salinidad(8.717%) > CE(8.693%) > TDS(8.688%) > Al(8.473%) > S(8.452%) > $SO_4^=$(8.168%) > Mn(8.044%) > Co(7.052%) > pH(6.613%) > Fe(5.919%) > Li(3.419%).

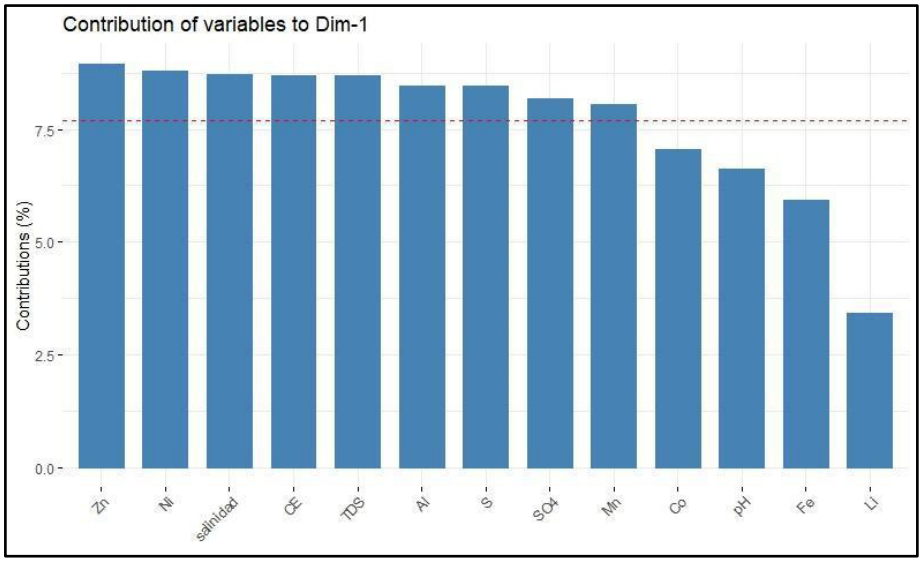


Figura 59. Contribución de las variables a la PC1.

Las variables que contribuyeron en porcentaje a la segunda dimensión se ubicaron en el siguiente orden: Li(38.890%) > Co(16.040%) >

Fe(15.155%) > Mn(8.237%) > $SO_4^=$(7.433%) > S(4.280%) > Al(2.537%) > salinidad(1.971%) > TDS(1.949%) > CE(1.940%) > Ni(1.036%) > pH(0.498%) > Zn(0.028%).

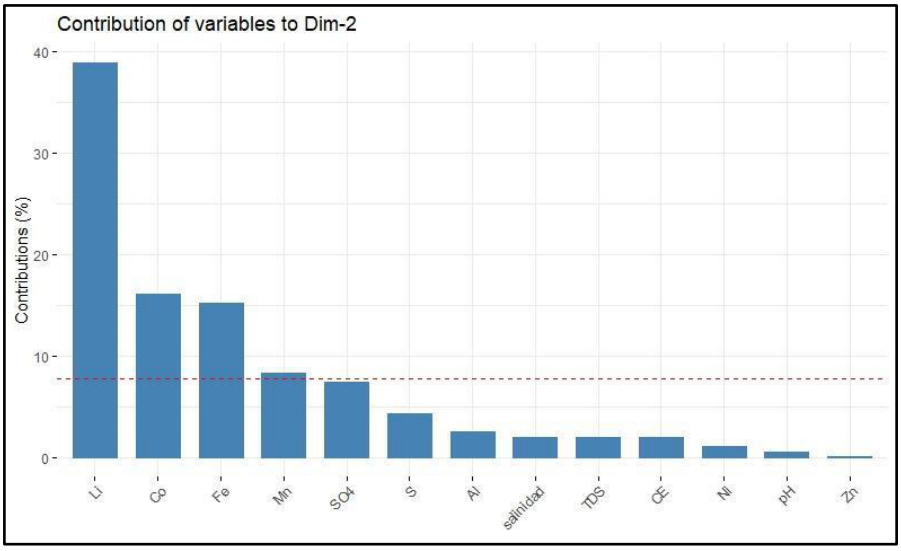


Figura 60. Contribución de las variables a la PC2.

Las observaciones 10(QRure2), 2(LTara2), 11(QRure3), 19(ROlle), 18(RNegr), 3(LTara3), 15(QSNom5), 16(QSNom7), 5(QOtut), 17(QUqui), 1(LTara1), 13(QSNom3) y 6(QPuma) tuvieron pH menor a 6 y altas concentraciones de metales, sulfatos y azufre, excepto en las observaciones 14(QSNom4), 7(QPuyh), 12(QSNom2), 9(QRure1), 4(QArar), 8(QQuil).

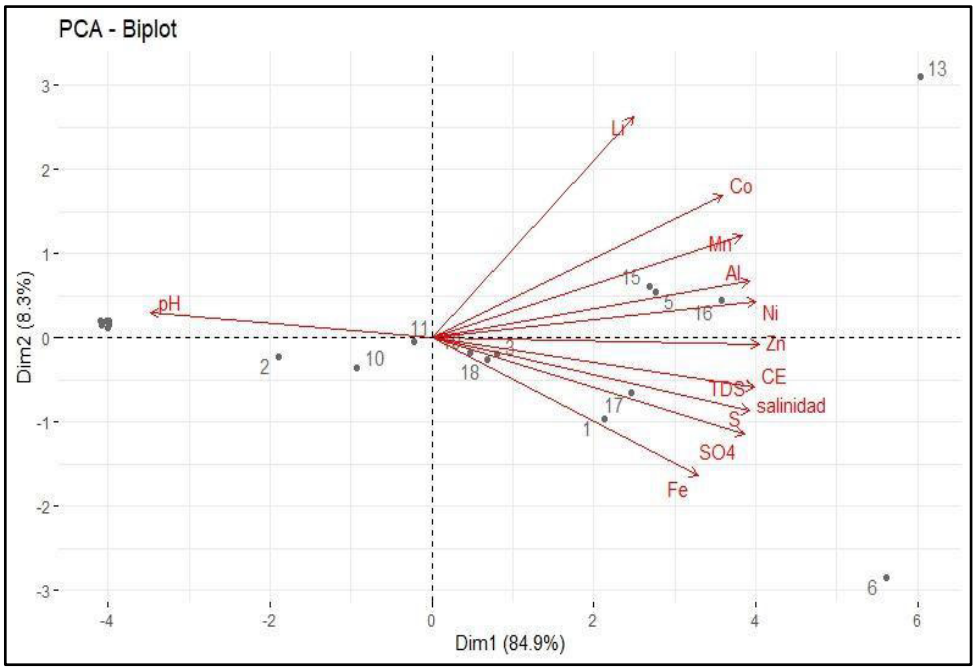


Figura 61. Biplot del análisis de componentes principales.

La PC1 estuvo relacionada con pH, CE, TDS, salinidad, $SO_4^=$, Fe, S, Al, Co, Mn, Ni, Zn y Li; la alta concentración de metales, azufre, sulfatos y bajo pH influyen en los valores elevados de CE, TDS y salinidad. Las altas concentraciones de metales y acidez podrían provenir de la lixiviación natural de rocas sulfuradas de los depósitos geológicos, por ello, este componente se centra en la contaminación natural por drenajes ácido de roca en el agua superficial. La PC2 estuvo relacionada con Li e igualmente, podría provenir de la lixiviación natural de rocas sulfurosas ricas en litio. Este componente se centra en la contaminación natural por litio.

V.4.2 Análisis de conglomerados

El análisis de clúster jerárquico mediante casos con el método de Ward e intervalo de distancia euclídea con datos estandarizados generó dos clústeres considerando el corte en la puntuación 10; el primer clúster conformado por QQuil, QRure1, QArar, QSNom4, QPuyh y QSNom2 caracterizado por tener pH cercano a 7 (neutro) y con bajas concentraciones de metales; el segundo clúster conformado con QPuma, QSNom3, QRure2, QRure3, LTara2, QOtut, QSNom5, QSNom7, RNegr, ROlle, LTara3, LTara1 y QUqui caracterizado por tener pH menor a 4 y con altas concentraciones de metales.

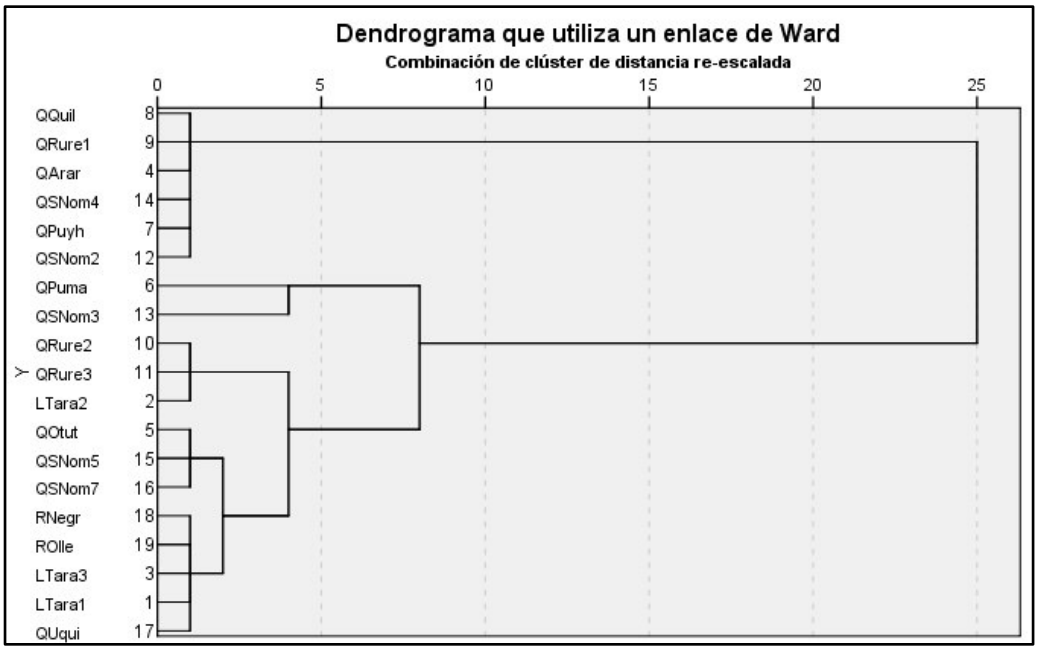


Figura 62. Dendrograma de casos.

El análisis de conglomerados generó dos grupos en función de las muestras analizadas. Los parámetros CE, TDS, salinidad, $SO_4^=$, S, Fe, Co, Mn, Al, Ni, Zn y Li forman el clúster 1 y pH el clúster 2.

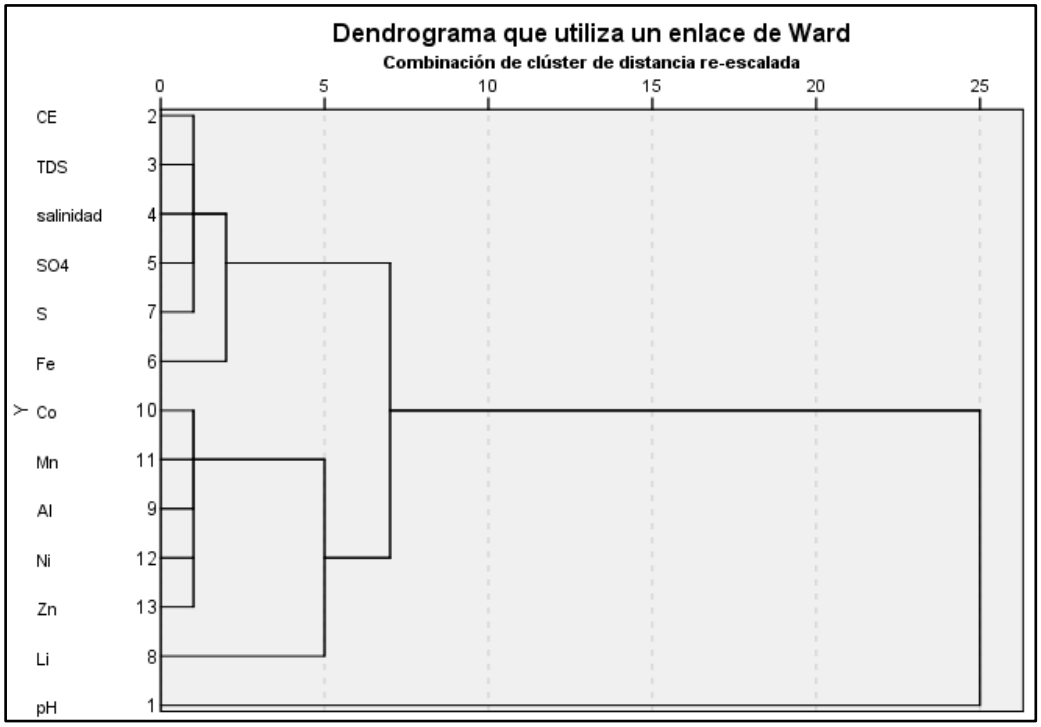


Figura 63. Dendrograma de variables.

V.5 Resultados del riesgo para la salud humana

El promedio del índice de riesgo no carcinogénico (HI) en niños estuvo en el siguiente orden Zn (0.010) < Ni (0.011) < Al (0.051) < Mn (0.181) < Li (0.243) < Fe (0.545) < Co (2.352). Los parámetros Zn, Ni, Mn, Al no representaron HI, excepto para los parámetros Co, Fe y Li. Los puntos de muestreo que representaron HI por Co fueron QRure2 (1.209), QRure3 (1.916), ROlle (2.129), RNegr (2.302), LTara3 (2.551), LTara1 (2.685), QPuma (2.760), QUqui (3.231), QSNom5 (5.356), QOtut (5.507), QSNom7 (6.489) y QSNom3 (8.049); HI por Fe fueron QPuma (3.064), QSNom3 (1.245) y QUqui (1.163), finalmente para HI por Li fue QSNom3 (2.003).

El promedio del índice de riesgo no carcinogénico (HI) en adultos estuvo en el siguiente orden Zn (0.005) < Ni (0.005) < Al (0.024) < Mn (0.083) < Li (0.112) < Fe (0.251) < Co (1.086). Los parámetros Zn, Ni, Al, Mn y Li no representaron riesgo no carcinogénico, excepto para los parámetros Co y Fe en función a los puntos de muestreo. Los puntos de muestreo que representaron HI por Co fueron RNegr (1.063), LTara3 (1.177), LTara1 (1.239), QPuma (1.274), QUqui (1.491), QSNom5 (2.472), QOtut (2.542), QSNom7 (2.995) y QSNom3 (3.715). Por otro lado, el punto de muestreo que representó HI por Fe fue QPuma (1.414).

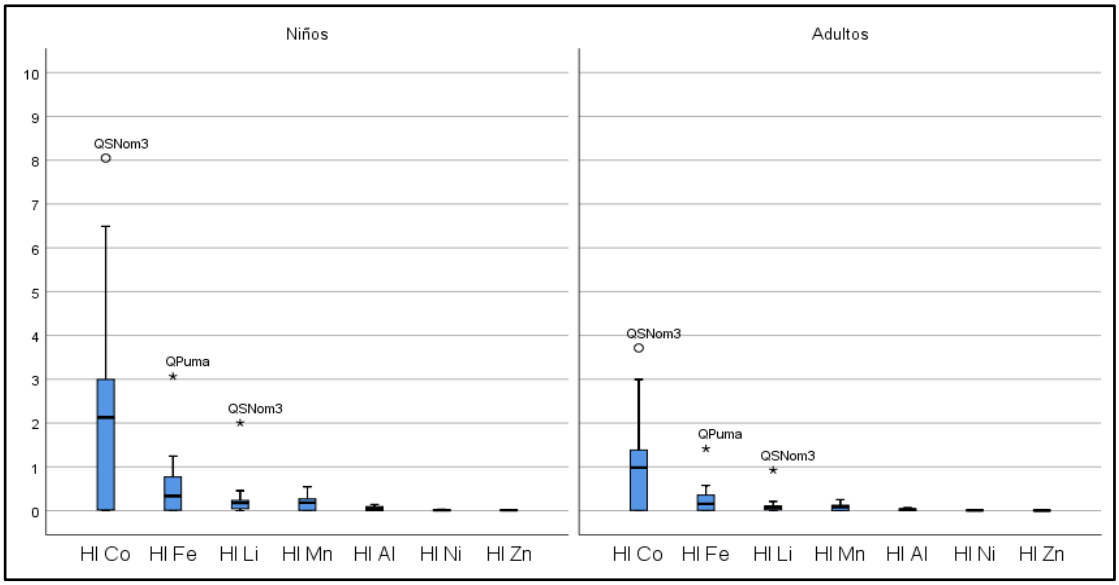


Figura 64. Diagrama de cajas del HI de Co, Fe, Li, Mn, Al, Ni y Zn en niños y adultos.

Tabla 24. Índice de riesgo no carcinogénico (HI) de parámetros Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn en niños y adultos.

Puntos de Muestro	Fe		Li		Al		Co		Mn		Ni		Zn	
	$HI_{Niño}$	HI_{Adulto}	$HI_{Niño}$	HI_{Adulto}	$HI_{Niño}$	HI_{Adulto}	$HI_{Niño}$	HI_{Adulto}	$HI_{Niño}$	HI_{Adulto}	$HI_{Niño}$	HI_{Adulto}	$HI_{Niño}$	HI_{Adulto}
LTara1	9.84E-01	4.542E-01	2.39E-01	1.105E-01	5.12E-02	2.365E-02	**2.68E+00**	**1.239E+00**	2.39E-01	1.104E-01	1.46E-02	6.738E-03	1.56E-02	7.200E-03
LTara2	1.30E-01	6.022E-02	7.33E-02	3.385E-02	2.55E-02	1.179E-02	4.53E-01	2.092E-01	9.26E-02	4.274E-02	2.50E-03	1.152E-03	5.82E-03	2.687E-03
LTara3	3.34E-01	1.542E-01	1.77E-01	8.154E-02	5.01E-02	2.315E-02	**2.55E+00**	**1.177E+00**	2.15E-01	9.916E-02	1.32E-02	6.067E-03	1.25E-02	5.764E-03
QArar	5.33E-03	2.462E-03	4.53E-02	2.092E-02	3.87E-04	1.785E-04	1.33E-02	6.154E-03	3.10E-03	1.432E-03	2.27E-04	1.047E-04	7.11E-04	3.282E-04
QOtut	6.98E-01	3.221E-01	2.46E-01	1.135E-01	1.05E-01	4.838E-02	**5.51E+00**	**2.542E+00**	3.85E-01	1.776E-01	2.17E-02	1.000E-02	1.84E-02	8.493E-03
QPuma	**3.06E+00**	**1.414E+00**	2.45E-01	1.132E-01	1.06E-01	4.907E-02	**2.76E+00**	**1.274E+00**	2.69E-01	1.242E-01	2.64E-02	1.220E-02	2.46E-02	1.136E-02
QPuyh	3.81E-03	1.758E-03	1.33E-03	6.154E-04	6.53E-04	3.015E-04	4.44E-03	2.051E-03	6.17E-04	2.848E-04	4.67E-05	2.156E-05	1.51E-03	6.975E-04
QQuil	3.24E-03	1.495E-03	4.53E-02	2.092E-02	5.60E-04	2.585E-04	2.22E-02	1.026E-02	5.05E-03	2.332E-03	3.07E-04	1.417E-04	5.78E-04	2.667E-04
QRure1	2.10E-03	9.671E-04	1.33E-03	6.154E-04	6.27E-04	2.892E-04	4.44E-03	2.051E-03	5.34E-04	2.463E-04	4.67E-05	2.156E-05	7.11E-04	3.282E-04
QRure2	1.07E-01	4.941E-02	1.02E-01	4.708E-02	2.62E-02	1.211E-02	**1.21E+00**	5.580E-01	1.01E-01	4.680E-02	6.18E-03	2.852E-03	6.27E-03	2.892E-03
QRure3	1.59E-01	7.358E-02	1.67E-01	7.692E-02	4.17E-02	1.925E-02	**1.92E+00**	8.841E-01	1.65E-01	7.619E-02	1.00E-02	4.625E-03	1.05E-02	4.862E-03
QSNom2	2.48E-03	1.143E-03	4.00E-03	1.846E-03	1.05E-03	4.862E-04	4.44E-03	2.051E-03	7.84E-04	3.617E-04	4.67E-05	2.156E-05	2.04E-03	9.436E-04
QSNom3	**1.25E+00**	5.747E-01	**2.00E+0**	9.246E-01	1.41E-01	6.507E-02	**8.05E+00**	**3.715E+00**	5.43E-01	2.507E-01	3.16E-02	1.458E-02	2.47E-02	1.138E-02
QSNom4	1.83E-02	8.440E-03	1.93E-02	8.923E-03	2.93E-04	1.354E-04	8.89E-03	4.103E-03	8.41E-03	3.879E-03	4.67E-05	2.156E-05	3.56E-04	1.641E-04
QSNom5	6.91E-01	3.188E-01	4.55E-01	2.098E-01	9.73E-02	4.492E-02	**5.36E+00**	**2.472E+00**	3.41E-01	1.572E-01	2.08E-02	9.596E-03	1.48E-02	6.810E-03
QSNom7	8.44E-01	3.895E-01	1.81E-01	8.338E-02	1.20E-01	5.549E-02	**6.49E+00**	**2.995E+00**	4.22E-01	1.948E-01	2.54E-02	1.170E-02	1.88E-02	8.657E-03
QUqui	**1.16E+00**	5.366E-01	2.13E-01	9.815E-02	8.56E-02	3.952E-02	**3.23E+00**	**1.491E+00**	2.67E-01	1.232E-01	1.87E-02	8.604E-03	1.66E-02	7.651E-03
RNegr	4.67E-01	2.157E-01	1.77E-01	8.154E-02	6.05E-02	2.791E-02	**2.30E+00**	**1.063E+00**	1.95E-01	8.990E-02	1.30E-02	5.993E-03	1.20E-02	5.539E-03
ROlle	4.28E-01	1.975E-01	2.27E-01	1.049E-01	5.67E-02	2.616E-02	**2.13E+00**	9.826E-01	1.83E-01	8.464E-02	1.17E-02	5.408E-03	1.11E-02	5.108E-03

HI≥1: Existe riesgo no carcinogénico; HI<1: No existe riesgo no carcinogénico

$HI = HQ_{ing} + HQ_{der}$

Tabla 25. Coeficientes de riesgo (HQ) de parámetros Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn de niños.

Puntos de Muestro	Fe		Li		Al		Co		Mn		Ni		Zn	
	HQ_{Ing}	HQ_{Der}	HQ_{Ing}	HQ_{Der}	HQ_{Ing}	HQ_{Der}	HQ_{Ing}	HQ_{Der}	HQ_{Ing}	HQ_{Der}	HQ_{Ing}	HQ_{Der}	HQ_{Ing}	HQ_{Der}
LTara1	9.84E-01	5.38E-05	2.39E-01	5.24E-07	5.12E-02	2.80E-06	2.68E+00	5.87E-05	2.39E-01	2.18E-04	1.46E-02	1.99E-05	1.56E-02	4.10E-07
LTara2	1.30E-01	7.14E-06	7.33E-02	1.60E-07	2.55E-02	1.40E-06	4.53E-01	9.92E-06	9.26E-02	8.44E-05	2.49E-03	3.41E-06	5.82E-03	1.53E-07
LTara3	3.34E-01	1.83E-05	1.77E-01	3.86E-07	5.01E-02	2.74E-06	2.55E+00	5.58E-05	2.15E-01	1.96E-04	1.31E-02	1.80E-05	1.25E-02	3.28E-07
QArar	5.33E-03	2.92E-07	4.53E-02	9.92E-08	3.87E-04	2.11E-08	1.33E-02	2.92E-07	3.10E-03	2.83E-06	2.27E-04	3.10E-07	7.11E-04	1.87E-08
QOtut	6.98E-01	3.82E-05	2.46E-01	5.38E-07	1.05E-01	5.73E-06	5.51E+00	1.20E-04	3.85E-01	3.50E-04	2.17E-02	2.96E-05	1.84E-02	4.83E-07
QPuma	3.06E+00	1.68E-04	2.45E-01	5.37E-07	1.06E-01	5.81E-06	2.76E+00	6.04E-05	2.69E-01	2.45E-04	2.64E-02	3.61E-05	2.46E-02	6.46E-07
QPuyh	3.81E-03	2.08E-07	1.33E-03	2.92E-09	6.53E-04	3.57E-08	4.44E-03	9.72E-08	6.17E-04	5.62E-07	4.67E-05	6.38E-08	1.51E-03	3.97E-08
QQuil	3.24E-03	1.77E-07	4.53E-02	9.92E-08	5.60E-04	3.06E-08	2.22E-02	4.86E-07	5.05E-03	4.60E-06	3.07E-04	4.19E-07	5.78E-04	1.52E-08
QRure1	2.10E-03	1.15E-07	1.33E-03	2.92E-09	6.27E-04	3.43E-08	4.44E-03	9.72E-08	5.33E-04	4.86E-07	4.67E-05	6.38E-08	7.11E-04	1.87E-08
QRure2	1.07E-01	5.85E-06	1.02E-01	2.23E-07	2.62E-02	1.44E-06	1.21E+00	2.64E-05	1.01E-01	9.24E-05	6.17E-03	8.44E-06	6.27E-03	1.65E-07
QRure3	1.59E-01	8.72E-06	1.67E-01	3.65E-07	4.17E-02	2.28E-06	1.92E+00	4.19E-05	1.65E-01	1.50E-04	1.00E-02	1.37E-05	1.05E-02	2.77E-07
QSNom2	2.48E-03	1.35E-07	4.00E-03	8.75E-09	1.05E-03	5.76E-08	4.44E-03	9.72E-08	7.83E-04	7.14E-07	4.67E-05	6.38E-08	2.04E-03	5.37E-08
QSNom3	1.25E+00	6.81E-05	2.00E+00	4.38E-06	1.41E-01	7.71E-06	8.05E+00	1.76E-04	5.43E-01	4.95E-04	3.16E-02	4.32E-05	2.47E-02	6.48E-07
QSNom4	1.83E-02	1.00E-06	1.93E-02	4.23E-08	2.93E-04	1.60E-08	8.89E-03	1.94E-07	8.40E-03	7.66E-06	4.67E-05	6.38E-08	3.56E-04	9.33E-09
QSNom5	6.91E-01	3.78E-05	4.55E-01	9.95E-07	9.73E-02	5.32E-06	5.36E+00	1.17E-04	3.40E-01	3.10E-04	2.08E-02	2.84E-05	1.48E-02	3.87E-07
QSNom7	8.44E-01	4.61E-05	1.81E-01	3.95E-07	1.20E-01	6.57E-06	6.49E+00	1.42E-04	4.22E-01	3.84E-04	2.53E-02	3.46E-05	1.88E-02	4.92E-07
QUqui	1.16E+00	6.36E-05	2.13E-01	4.65E-07	8.56E-02	4.68E-06	3.23E+00	7.07E-05	2.67E-01	2.43E-04	1.86E-02	2.55E-05	1.66E-02	4.35E-07
RNegr	4.67E-01	2.56E-05	1.77E-01	3.86E-07	6.05E-02	3.31E-06	2.30E+00	5.04E-05	1.95E-01	1.77E-04	1.30E-02	1.77E-05	1.20E-02	3.15E-07
ROlle	4.28E-01	2.34E-05	2.27E-01	4.97E-07	5.67E-02	3.10E-06	2.13E+00	4.66E-05	1.83E-01	1.67E-04	1.17E-02	1.60E-05	1.11E-02	2.91E-07

Indica si los efectos crónicos no relacionados al cáncer en la salud son probables debido a la exposición de Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn en el grupo etario niños ya sea por ingesta o por contacto dérmico.

Tabla 26. Coeficientes de riesgo (HQ) de parámetros Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn de adultos.

Puntos de Muestro	Fe		Li		Al		Co		Mn		Ni		Zn	
	HQ_{Ing}	HQ_{Der}	HQ_{Ing}	HQ_{Der}	HQ_{Ing}	HQ_{Der}	HQ_{Ing}	HQ_{Der}	HQ_{Ing}	HQ_{Der}	HQ_{Ing}	HQ_{Der}	HQ_{Ing}	HQ_{Der}
LTara1	4.54E-01	1.54E-05	1.10E-01	1.07E-08	2.36E-02	8.03E-07	1.24E+00	1.68E-05	1.10E-01	6.24E-05	6.73E-03	5.71E-06	7.20E-03	1.96E-07
LTara2	6.02E-02	2.04E-06	3.38E-02	3.28E-09	1.18E-02	4.00E-07	2.09E-01	2.84E-06	4.27E-02	2.42E-05	1.15E-03	9.77E-07	2.69E-03	7.30E-08
LTara3	1.54E-01	5.24E-06	8.15E-02	7.91E-09	2.31E-02	7.86E-07	1.18E+00	1.60E-05	9.91E-02	5.61E-05	6.06E-03	5.14E-06	5.76E-03	1.57E-07
QArar	2.46E-03	8.36E-08	2.09E-02	2.03E-09	1.78E-04	6.06E-09	6.15E-03	8.36E-08	1.43E-03	8.10E-07	1.05E-04	8.88E-08	3.28E-04	8.91E-09
QOtut	3.22E-01	1.09E-05	1.14E-01	1.10E-08	4.84E-02	1.64E-06	2.54E+00	3.45E-05	1.77E-01	1.00E-04	9.99E-03	8.48E-06	8.49E-03	2.31E-07
QPuma	1.41E+00	4.80E-05	1.13E-01	1.10E-08	4.91E-02	1.67E-06	1.27E+00	1.73E-05	1.24E-01	7.03E-05	1.22E-02	1.03E-05	1.14E-02	3.09E-07
QPuyh	1.76E-03	5.97E-08	6.15E-04	5.97E-11	3.02E-04	1.02E-08	2.05E-03	2.79E-08	2.85E-04	1.61E-07	2.15E-05	1.83E-08	6.97E-04	1.89E-08
QQuil	1.49E-03	5.07E-08	2.09E-02	2.03E-09	2.58E-04	8.77E-09	1.03E-02	1.39E-07	2.33E-03	1.32E-06	1.42E-04	1.20E-07	2.67E-04	7.24E-09
QRure1	9.67E-04	3.28E-08	6.15E-04	5.97E-11	2.89E-04	9.82E-09	2.05E-03	2.79E-08	2.46E-04	1.39E-07	2.15E-05	1.83E-08	3.28E-04	8.91E-09
QRure2	4.94E-02	1.68E-06	4.71E-02	4.57E-09	1.21E-02	4.11E-07	5.58E-01	7.58E-06	4.68E-02	2.65E-05	2.85E-03	2.42E-06	2.89E-03	7.86E-08
QRure3	7.36E-02	2.50E-06	7.69E-02	7.46E-09	1.92E-02	6.54E-07	8.84E-01	1.20E-05	7.61E-02	4.31E-05	4.62E-03	3.92E-06	4.86E-03	1.32E-07
QSNom2	1.14E-03	3.88E-08	1.85E-03	1.79E-10	4.86E-04	1.65E-08	2.05E-03	2.79E-08	3.62E-04	2.05E-07	2.15E-05	1.83E-08	9.44E-04	2.56E-08
QSNom3	5.75E-01	1.95E-05	9.25E-01	8.97E-08	6.51E-02	2.21E-06	3.71E+00	5.04E-05	2.51E-01	1.42E-04	1.46E-02	1.24E-05	1.14E-02	3.09E-07
QSNom4	8.44E-03	2.87E-07	8.92E-03	8.66E-10	1.35E-04	4.60E-09	4.10E-03	5.57E-08	3.88E-03	2.19E-06	2.15E-05	1.83E-08	1.64E-04	4.46E-09
QSNom5	3.19E-01	1.08E-05	2.10E-01	2.04E-08	4.49E-02	1.52E-06	2.47E+00	3.36E-05	1.57E-01	8.89E-05	9.59E-03	8.14E-06	6.81E-03	1.85E-07
QSNom7	3.89E-01	1.32E-05	8.34E-02	8.09E-09	5.55E-02	1.88E-06	2.99E+00	4.07E-05	1.95E-01	1.10E-04	1.17E-02	9.92E-06	8.66E-03	2.35E-07
QUqui	5.37E-01	1.82E-05	9.82E-02	9.52E-09	3.95E-02	1.34E-06	1.49E+00	2.03E-05	1.23E-01	6.97E-05	8.60E-03	7.30E-06	7.65E-03	2.08E-07
RNegr	2.16E-01	7.32E-06	8.15E-02	7.91E-09	2.79E-02	9.47E-07	1.06E+00	1.44E-05	8.99E-02	5.08E-05	5.99E-03	5.08E-06	5.54E-03	1.50E-07
ROlle	1.98E-01	6.71E-06	1.05E-01	1.02E-08	2.62E-02	8.88E-07	9.83E-01	1.33E-05	8.46E-02	4.79E-05	5.40E-03	4.59E-06	5.11E-03	1.39E-07

Indica si los efectos crónicos no relacionados al cáncer en la salud son probables debido a la exposición de Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn en el grupo etario adultos ya sea por ingesta o por contacto dérmico.

V.6 Resultados de la distribución espacial de HPI y HI

El HPI osciló entre 1627.805 y 4.847 y la distribución geoespacial fue heterogénea. Los valores de los puntos de muestreo representativos para el recurso hídrico superficial con contaminación alta (HPI>150) fueron en la laguna Tarahua, quebradas Rurec, Pumahuaganga, sin nombre 3, Uquian, sin nombre 7, Otuto, rio Negro y Olleros; la contaminación se enfocó en los cauces principales, asimismo, el HPI fue elevado en la cabecera de cuenca glaciar y fue disminuyendo aguas abajo. El HPI fue menor en aguas superficiales laterales (HPI<30), los cuales fueron en el tramo inicial de la quebrada Rurec, Puyhuan, Huaracayoc, Araranca, Quillon y sin nombre 4.

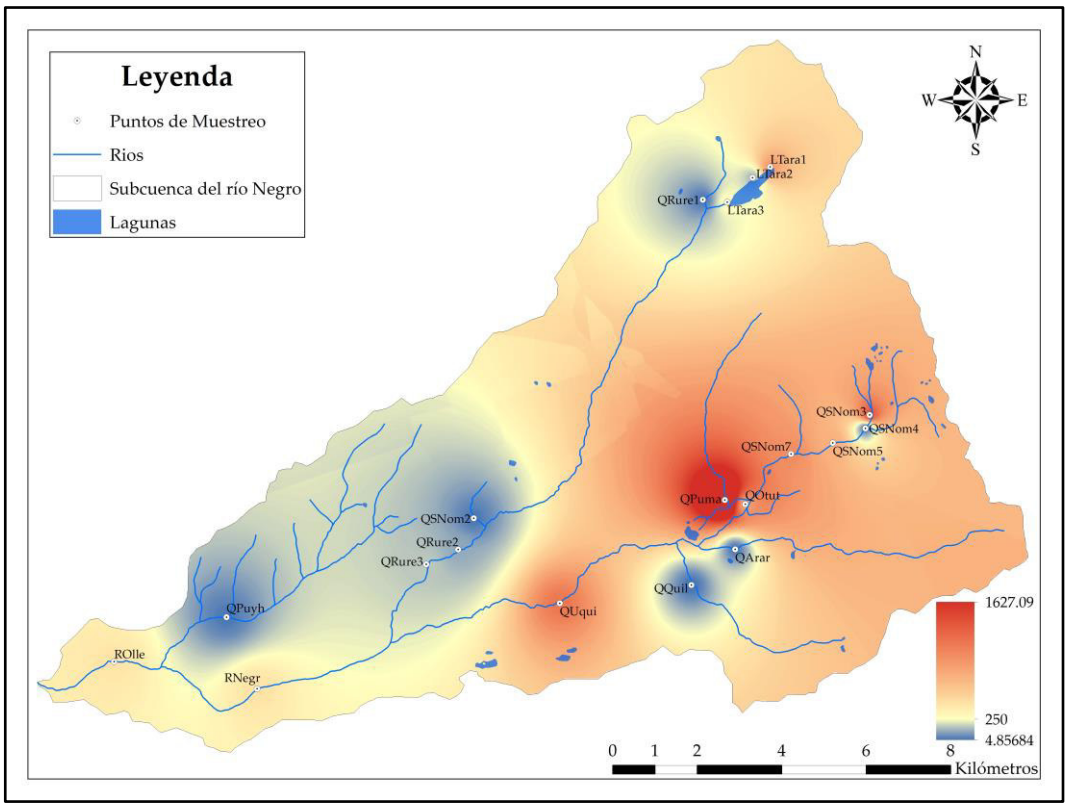


Figura 65. Mapa de distribución geoespacial de HPI.

Los valores de HI de Fe se focalizaron en la quebrada Pumahuaganga, sin nombre 3 y Uquian; el HI de Li en quebrada si nombre 3 y 5; el HI de Al en la quebrada sin nombre 3, 7 y Pumahuaganga; el HI de Co en la laguna Tarahua, quebrada Otuto, Pumahuaganga, Rurec, Uquian, río Olleros y Negro, quebradas sin nombre 3, 5 y 7; el HI de Mn las quebradas sin nombre 3, 5, 7 y Otuto y el HI de Ni y Zn se centró en la quebrada sin nombre 3.

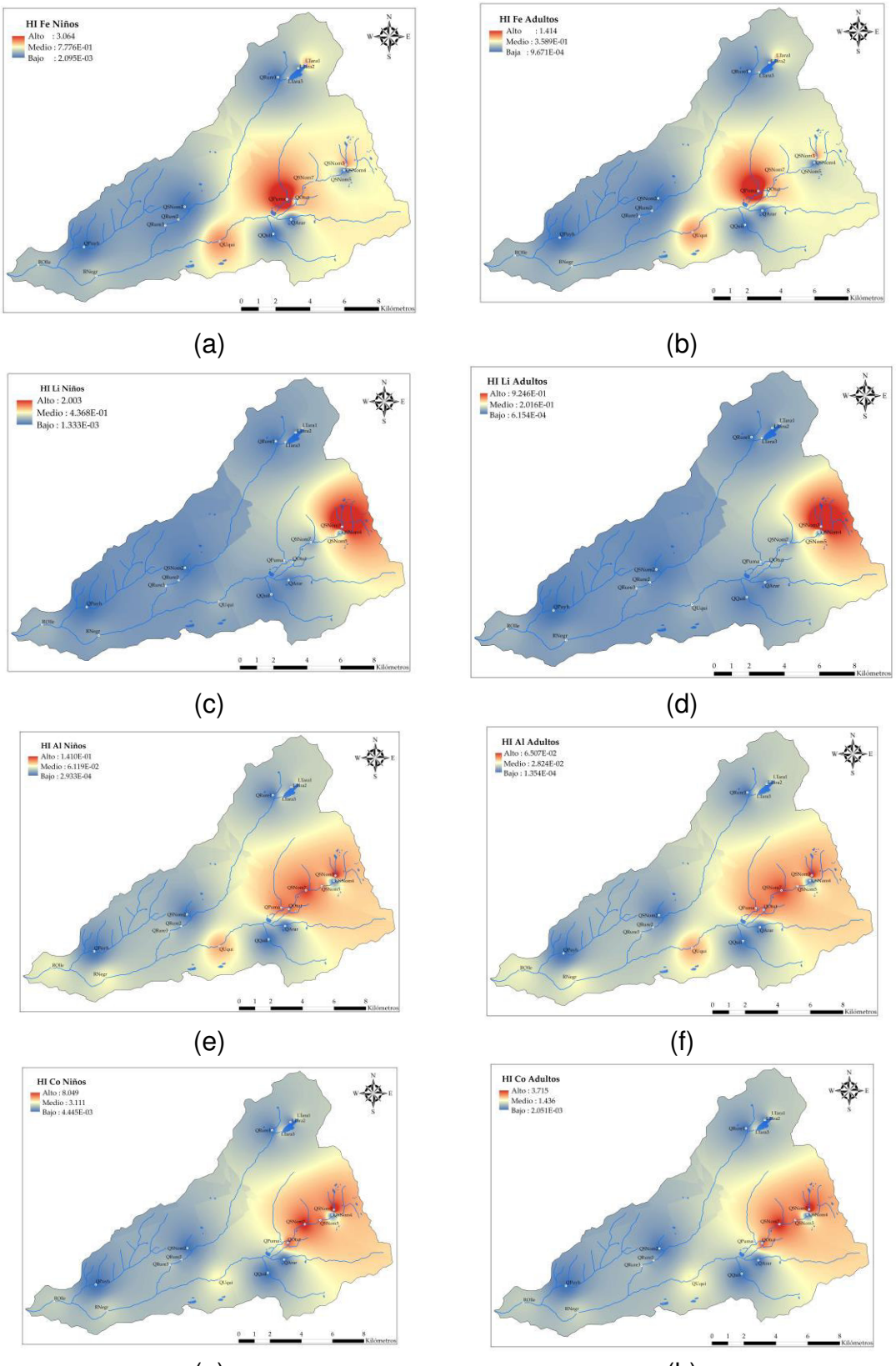


Figura 66. Distribución geoespacial del HI del Fe, Li, Al y Co (a) HI por Fe para niño; (b) HI por Fe para adulto; (c) HI por Li para niño; (d) HI por Li para adulto;

(e) HI por Al para niño; (f) HI por Al para adulto; (g) HI por Li para niño; (h) HI por Co para adulto

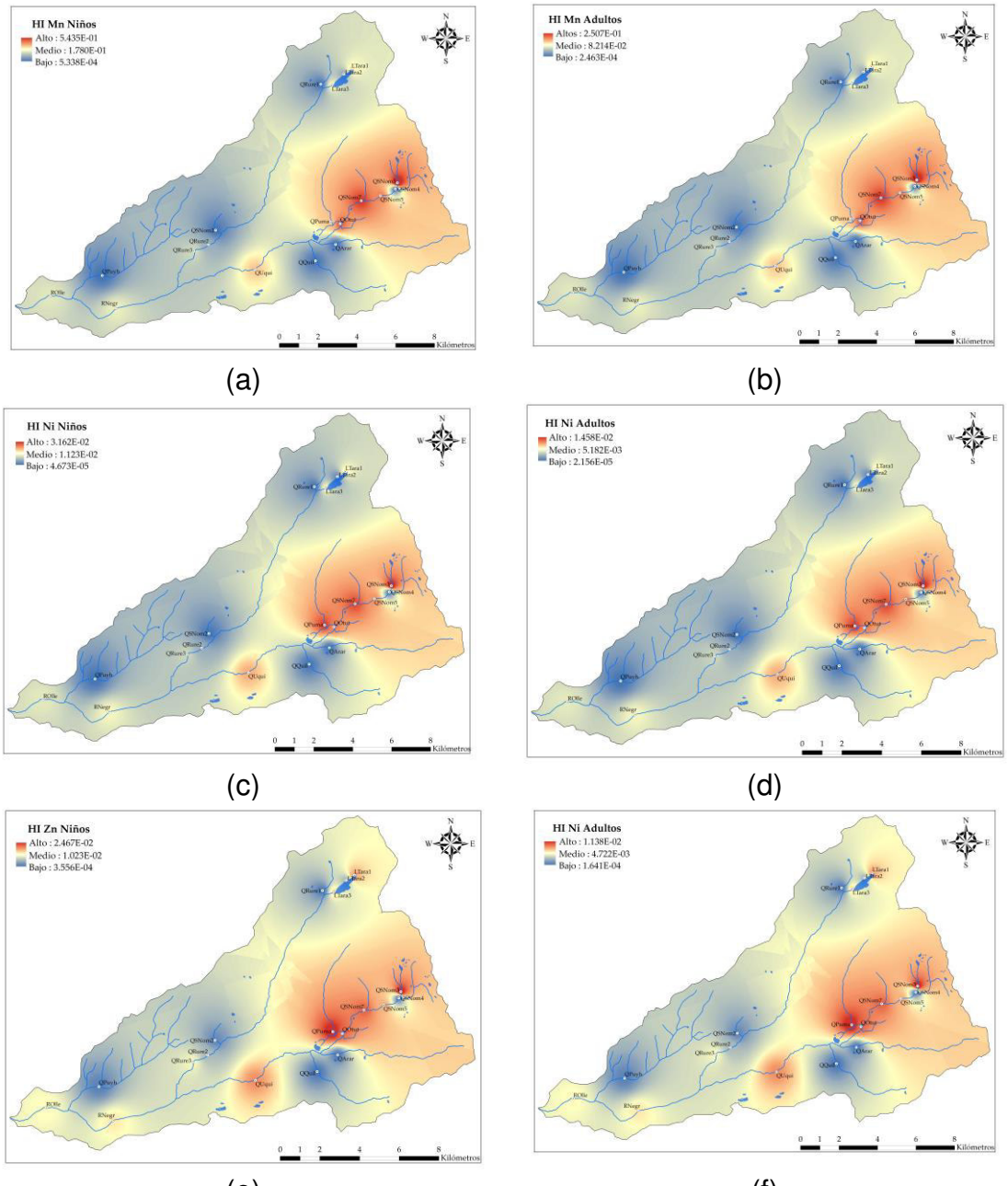


Figura 67. Distribución geoespacial de HI de Mn, Ni y Zn (a) HI por Mn para niño; (b) HI por Mn para adulto; (c) HI por Ni para niño; (d) HI por Ni para adulto; (e) HI por Zn para niño; (f) HI por Zn para adulto

VI. DISCUSIÓN

El agua superficial de la subcuenca del río Negro proviene en parte del derretimiento de glaciares denominados Cashán, Rurec, Uruashraju, Yanamarey, Tuctopunta, Pumahuacanca, Tuctu y Pucaraju, así como de las precipitaciones pluviales, desembocando en lagunas (Tarahua, Huansan, Collotacocha, Toroccocha, Huichicocha, Llactacocha y Huamash) discurriendo por quebradas y ríos (Olleros y Negro) al río Santa. Los puntos de muestreo conformados para evaluar la calidad del agua, determinar el riesgo para la salud humana y su distribución espacial estuvo conformado por veintiún (21) muestras de agua superficial, de las cuales dos (02) fueron eliminadas, las cuales corresponden a QSNom1 y QSNom6 producto de errores en las operaciones de muestreo, específicamente en el etiquetado para el análisis de aniones y metales totales; sin embargo, la eliminación de estos puntos solo representa pérdida de la integridad, mas no de la representatividad, puesto que QSNom1 representa el mismo cuerpo de agua que QSNom2; por otro lado QSNom5 representa la misma agua superficial para QSNom6; por ende, estas muestras de agua eliminadas no alteraron los resultados de la presente investigación[85].

Todas las muestras de agua de las quebradas fueron recolectadas del punto medio de la corriente, que es el punto más homogéneo y profundo. Sin embargo, para los puntos RNegr y ROlle, que tenían alto caudal, se recolectó la muestra directamente de la orilla. Es importante mencionar que según el ANA [85], el muestreo debe realizarse con brazo muestreador para asegurar la homogeneidad, profundidad, representatividad y seguridad. A pesar de ello, estos criterios se cumplieron sin la necesidad de utilizar brazo muestreador.

La preservación de las muestras para el análisis de metales se realizó utilizando $HNO_{3(cc)}$.En primer lugar, porque reduce el pH, lo que minimiza precipitación y adsorción en las paredes del recipiente, detiene la degradación microbiana y forma sales de nitratos solubles en agua. En segundo lugar, esta preservación es fundamental para la digestión en ICP, ya que destruye la matriz impidiendo la interferencia durante la atomización [127,128]. Para reducir la actividad microbiana, los sulfatos, fluoruros y cloruros se conservaron a una temperatura de 4°C ± 2°C.

Los aniones y metales totales analizados registraron valores por debajo del límite de detección analíticos (LDA), por ello, se utilizó la mitad del valor del LDA para el análisis; esto se sustenta en el principio precautorio [129, 130], puesto que existe una situación de incertidumbre, por lo tanto, no se puede recurrir a estimar concentraciones nulas, porque existe un riesgo mínimo que las concentraciones de estos parámetros pueda afectar a la salud humana o al ambiente, debido a que, la concentración del parámetro para un punto de muestreo varía entre el cero y el LDA.

En el análisis descriptivo se visualizó gran cantidad datos atípicos y extremos, los principales fueron en QPuma (Fe: 160.85 mg/L), QSNom3 (Li: 0.3005 mg/L y Co: 0.1811 mg/L). Estos valores atípicos y extremos podrían tergiversar el análisis, estos valores podrían provenir de errores durante el proceso de muestreo, problemas en los sistemas de medición o en la codificación de datos[131] sin embargo, durante el proceso de muestreo se cumplió con los criterios, control de calidad y cadena de custodia establecido por el ANA[85], asegurando la representatividad e integridad de las muestras; en consecuencia, estos valores obtenidos son valores extremos verdaderos o representativos.

Los valores de los parámetros evaluados con el ECA-Categ.1.A2 en época de estiaje, registraron que QRure2, QRure3, QUqui, RNegr y ROlle tuvieron pH entre 2.772 a 3.072, Fe entre 5.62 a 61.04 mg/L y Mn entre 0.6081 a 1.6009 mg/L, los cuales excedieron el estándar de calidad. Además, estos puntos registraron valores significativos de CE entre 851.8 a 1279.4 µs/cm, TDS entre 430 a 639.8 ppm, $SO_4^=$ entre 131.9 a 253.7, Al entre 1.938 a 6.421 mg/L (QUqui por encima del ECA), Zn entre 0.141 a 0.373 mg/L y Ni entre 0.0463 a 0.1394 mg/L. Estos valores indican que el agua no es apta para el consumo humano. Por otro lado, QPuyh y QSNom2 cumplieron con el ECA-Categ.1.A2, lo que indica que son adecuadas para el consumo humano.

La ANA [16, 17, 18] llevó a cabo monitoreo de agua en el río Olleros, los cuales son representativos para toda la subcuenca. En 2013, durante la época de estiaje, registraron valores de pH (3.51), Al (0.67 mg/L), Fe (4.3742 mg/L), Mn (0.1308 mg/L) y Ni (0.0308 mg/L). En 2014, durante la época de avenidas valores de pH (4.14), Al (1.41 mg/L), Fe (3.833 mg/L), Mn (0.2890 mg/L) y Ni (0.0266 mg/L). En

2015, durante la época de estiaje, se registraron valores de pH (4.01), Al (2.247 mg/L), Fe (5.386 mg/L), Mn (0.523 mg/L) y Ni (0.040mg/L) ; en consecuencia los valores de pH y metales expresan el empeoramiento de la calidad del agua a través del tiempo; asimismo, la precipitación pluvial afecta la calidad del agua [132]; durante la época de avenidas existe mayor precipitación pluvial e incremento del caudal, el cual tiene un efecto diluyente; por el contrario, en época de estiaje incrementa la concentración de metales y bajo pH, pudiendo disolver los complejos metálicos del sedimento liberando iones metálicos[133,134]; esto se explica en los monitoreos de sedimento del 2013[16] donde se registró valores significativos de Al (6863.0 mg/Kg), Fe (5863.2 mg/Kg) y Ni (5.35 mg/Kg). Los valores de los parámetros evaluados con ECA-Categ.4 en época de estiaje, registraron que LTara1, LTara2, LTara3, QOtut, QPuma, QSNom3, QSNom5 y QSNom7 tuvieron pH entre 2.708 a 3.642, CE entre 480.2 a 1848 µs/cm, Ni entre 0.0187 a 0.2368 mg/L, Pb entre 0.0009 a 0.0044 mg/L y Zn entre 0.131 a 0.555 mg/L, por encima del estándar de calidad; sugiriendo que los ecosistemas que componen esta área del Parque Nacional de Huascarán se encuentra contaminada; asimismo, se observó que estos puntos tuvieron concentraciones significativas de $SO_4^=$ entre 98 a 494 mg/L, Fe entre 6.85 a 160.85 mg/L, Al entre 1.916 a 10.573 mg/L y Mn entre 1.2884 a 3.2579 mg/L.

Las elevadas concentraciones de metales (Fe, Al, Mn, Ni, Zn) , $SO_4^=$ y S, sugieren que la contaminación es natural, puesto que los valores de estos parámetros se manifiestan en la cabecera de la subcuenca del río Negro, específicamente en la zona glaciar y periglaciar; sugiriendo que las concentraciones de metales disueltos en agua se encuentran dominados por factores como la litología [133,134] de la zona, principalmente para el agua superficial representativa de las lagunas Tarahua y Huansan; quebradas Pumahuaganga, Rurec, Otuto y Uquian, río Negro y Olleros.

El origen de la contaminación natural del agua se sustenta porque no existe pasivos ambientales mineros o actividades mineras que generan drenajes ácido que expliquen las elevadas concentraciones de metales en agua; solo hubo una fuente puntual de contaminación antropogénica debido a la ejecución de un proyecto de riego entre los puntos de muestreo QRure2 y QRure3, sin embargo, la variación de las concentraciones entre los parámetros fue mínima,

específicamente la variación fue en los parámetros $SO_4^=$, Mg, Ca, SiO2, Fe, Al, Zn y Ni; esta elevación de la concentración fue posiblemente por la remoción de suelo, sedimento y la utilización de cemento para la construcción de infraestructura hidráulica, el cual se compone principalmente de CaO, SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3[135].

Alrededores de los puntos de muestro QArar, QOtut, QPuma, QRure2 y QRure3 hubo gran actividad de ganadería, en consecuencia, estas aguas pudieron evaluarse con el ECA-Categ.3.D2 (Categoría 1: Riego de vegetales y bebida de animales, Subcategoría D2: Bebida de animales) como lo hicieron Leyva[136] y Morales[137]. Sin embargo, la evaluación del recurso hídrico fue con el ECA-Categ.1.A2 y ECA-Categ4 bajo criterios técnicos[85], normativos[110] y objetivos[138].

Los resultados de aniones, metales totales y parámetros fisicoquímicos fueron análogos al estudio de Grande et al.[19] en el río Negro y la microcuenca Uquian; reportaron medias de pH (4.405), CE (505.115 µs/cm), $SO_4^=$ (224.231 mg/L), Al (4.007 mg/L), Fe (27.304 mg/L), Mn (0.946 mg/L), S (72.552), Zn (0.261 mg/L) y Ni (0.075 mg/L), excepto Mo (0.231 mg/L) en agua; coincidiendo que la contaminación tiene origen natural, específicamente por la generación de DAR; asimismo, resalta que los factores climáticos, hidrológicos, geomorfológicos, geológicos y biológicos pueden incrementar la formación de DAR; igualmente Bösken y Van der Meulen [20] reportaron pH<4, elevado Al, Fe, Mn, Cu, Ni y $SO_4^=$ en agua; Leyva[136] reportó pH<4, valores significativos de Al, Fe, Mn, Ni y Zn en agua, suelo y sedimento en los bofedales de Collotacocha, cercanos a la quebrada Otuto y Uquian; resaltando la capacidad remediadora de los bofedales, asociándolos con las especies *Distichia muscoides, Juncus articus willd* y *Festuca dolichophylla*; Morales[137] detalla mejor biorremediación con *Distichia muscoides* y *Juncus articus willd* en bofedales en la quebrada Uquián, por lo que la disminución de la concentración de metales a lo largo de la subcuenca también se encuentra asociado a los bofedales.

Grande, et al.[19], Bösken y Van der Meulen [20] , Leyva[136] y Morales[137] revelan que la calidad del agua del cauce principal no es apta para la bebida de animales, ni consumo humano, excepto para el agua superficial que discurre por los laterales, representativo para los puntos de muestreo QQuil, QRure1, QArar, QSNom4, QPuyh, QSNom2; asimismo, se evidenció alta concentración de metales en el origen de la cuenca (LTara1, LTara2 y QSNom3), los cuales van disminuyendo la concentración aguas abajo; esto es explicado por la remediación de los bofedales y especies vegetales [136,137], las temporadas (avenida y estiaje) y la precipitación de oxihidrosulfatos de hierro[19] , el cual se observa en los sedimentos color rojo ladrillo en todo el cauce principal de la subcuenca del río Negro.

Las elevadas concentraciones de Fe, Al, Mn, Ni, Zn y $SO_4^=$ y pH<4 reportados en la subcuenca del río Negro, son análogos a estudios realizados por Martel et al. [9]; este estudio determinó que el pH del cauce principal de las microcuencas Quillcayhuanca y Shallap fue ácida, excepto de Cojup; resaltando que la acidificación se encuentra asociado a litología de la zona; Reyes [10] , reportó elevadas concentraciones de Al, Fe, Mn, Li, Ni, Co y Zn y bajo pH durante avenidas y estiaje, la mayoría de los puntos estuvieron fuera del rango establecido en el ECA-Categ.1.A en los cauces principales en la microcuenca Quillcayhuanca; sin embargo, en la margen derecha cumplía con los estándares de calidad para agua y las concentraciones de metales fueron asociadas a rocas con sulfuros; Santofimia et al. [7], en la microcuenca Pachacoto, reportó la existencia de manantiales y lagunas con pH<3, elevadas concentraciones de metales (Fe, Al, Mg, Mn, Zn, Co y Ni) y $SO_4^=$, esto debido a la oxidación de lutitas y areniscas ricas en pirita. Por lo tanto, los valores de metales semejantes y pH bajo de la subcuenca del río Negro, Quillcay y microcuenca Pachacoto pueden compartir características y el mismo dominio litológico con contenido de sulfuros.

En este estudio, el promedio del índice de contaminación por metales pesados (HPI) fue de 360.959; el HPI osciló entre 4.847 y 1627.804, de los cuales: 6 con contaminación baja (HPI<90), 2 con contaminación media (90≤HPI<150) y 11 con contaminación alta (HPI≥150). Estos valores dividen los puntos de muestreo en dos grupos; QRure2, LTara2, QRure3, LTara3, ROlle, RNegr, QSNom5, QOtut, LTara1, QSNom7, QUqui, QSNom3 y QPuma con contaminación media-

alta y QQuil, QArar, QRure1, QSNom2, QSNom5 y QPuyh con contaminación baja. El elevado HPI es explicado por la alta concentración de Fe, Al, Ni, Mn y Zn y de los valores ponderales (Wi) de cada elemento, siendo los mayores de Pb, Ni, Al y Fe.

De acuerdo con los resultados del HPI (ver figura 65), los recursos hídricos que discurren por la subcuenca del río Negro se resumen de la siguiente manera: (a) la contaminación fue baja en la quebrada Puyhuan, parte inicial de la quebrada Rurec, quebrada sin nombre 2, 4, Araranca y Quilloc; (b) la contaminación fue intermedia y alta en las quebradas Rurec, Pumahuaganga, Otuto, Uquian, rio Negro y Olleros. La contaminación estuvo distribuida espacialmente en el cauce central, mientras que en los laterales fue baja.

La categorización de HPI es muy variable [111, 119, 139 - 143]; por ello se utilizó la categorización de Kwaya et al.[114], Karunanidhi et al.[115] y Chakraborty et al. [116], porque se ajustaba mejor a los cuerpos de agua contaminados con DAR. El HPI es útil para identificar agua superficial contaminada en fuentes puntuales y a través del tiempo [111, 112, 114, 115, 119, 139 - 143]. La determinación de HPI se limitó al Pb, Ni, Al, Fe, Mn, Cu y Zn; primero, porque su cálculo solo se aplica a los denominados metales pesados (Pb, Mn, Ni, Zn, Hg, Cd, etc.), no obstante, la IUPAC[144] menciona que el concepto metal pesado carece de coherencia, el cálculo en Al se sustenta en Razak et al.[112] y Tengku et al.[140]; segundo, porque los valores de S_i (límite máximo permisible en agua potable establecido por la OMS, US EPA, et al.) para Al, Zn y Fe no se encuentran basados sobre los posibles efectos negativos a la salud, sino por criterios organolépticos; tercero, porque no considera factores ambientales; por lo que este índice no explicaría de forma adecuada la contaminación por metales.

La elección de parámetros para el análisis de componentes principales (PCA) y análisis de conglomerados (CA) fueron pH, CE, TDS, salinidad, $SO_4^=$, Fe, S, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn; sustentado en la definición de DAR y las concentraciones elevadas. El análisis de correlación reveló una fuerte asociación entre los parámetros; obteniendo que el 97.43% (76) de las correlaciones fueron significativas ($p>0.05$). La primera componente principal estuvo correlacionada con pH, CE, TDS, salinidad, $SO_4^=$, Fe, S, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn, indicando que

la fuente es natural, debido a la reacción de oxidación y lixiviación de las rocas con sulfuros; la segunda componente estuvo correlacionada con $SO_4^=$, Li, Fe y Co, indicando que la fuente podría ser las rocas con sulfuros asociados a estos tres metales; por ello, se sugiere que la contaminación por metales, pH<4, $SO_4^=$ y S es debido a la generación de DAR en las cabeceras de la subcuenca del río Negro.

La formación de DAR en la subcuenca del río Negro tiene origen como consecuencia del calentamiento global, que se refleja en la perdida de la cobertura glaciar de la Cordillera Blanca de 723.37 a 448.81 Km^2 [6], específicamente en la subcuenca de estudio se observa disminución de 1 Km de cobertura glaciar de los nevados de Uruashraju y Yanamarey, retrocediendo ±19 metros entre 1948 a 2019 [21-24]; y en las características geológicas, Grande et al. [19] y otros autores [20, 136, 137,] especifican que en algunas zonas de la Cordillera Blanca (parte sur) se encuentra dominado principalmente por la formación Chicama esta se constituye por pizarras, lutitas y areniscas metamórficas con presencia de pirita (FeS_2), calcopirita ($CuFeS_2$) y otros similares, cuya oxidación y lixiviación produce acidez de las aguas superficiales. Por ello, la desglaciación expuso y expone las rocas ricas en sulfuros (formación Chicama) al agua y oxígeno produciendo DAR en la naciente de la subcuenca, contaminando el recurso hídrico. La probable presencia de permafrost en la Cordillera Blanca podría estar asociada a generación de DAR [145], puesto que Ilyashuk et al.[146] menciona que; la degradación del permafrost periglaciar prístino puede generar DAR.

Para el estudio, la generación de DAR está ligado específicamente a la formación geológica Chicama y la pérdida de cobertura glaciar, el cual aceleró este proceso, como se observa los puntos LTara1 y LTara2 representativos para los glaciares Rurec y Uruashraju; QPuma para Uruashraju y Pumahuacanca; QSNom3 para Tuctopunta y Uruashraju, los cuales se encuentran con DAR; por otro lado, QRure1 representativo para el glaciar Cashán, QSNom4 para Tuctu, QArar para Yanamarey y QQuil para Pucajaru no se encuentran contaminados con DAR, esto se sustenta porque la geología donde discurre el agua superficial es distinta a la formación Chicama.

El origen del recurso hídrico de los puntos QSNom2 y QPuyh proviene de procesos de derretimiento del glaciar Shacsha, la geología es el batolito de la Cordillera Blanca, esta agua es transportada por el canal de derivación denominado Oncor [86] hasta la quebrada Huaracayoc, Puyhuan y centro poblado de Olleros, por ello, esta agua no se encuentra contaminada por DAR.

Estudios de generación de DAR en contextos glaciares y periglaciares análogos a los resultados de la presente investigación son limitados; Ilyashuk et al.[146] describe la presencia de DAR en Alpes Italianos, sugiere que la meteorización oxidativa de los minerales de sulfuro puede ser más intensa en zonas periglaciares, donde el agua se encuentra en estado líquido más tiempo, exponiendo la roca al agua y oxígeno. Esto se evidencia en las elevadas concentraciones de $SO_4^=$, Ni, Mn, Al y pH<5.5; asimismo, introduce estudios en paleoecotoxicología para evaluar el efecto del DAR en los medios de vida. Tolotti et al.[147] reportaron en subcuencas La Mare y Amola altas concentraciones de Ni, Al, Fe y pH bajo de probable origen geológico; detallan que estos metales pueden sufrir procesos de concentración relacionados al permafrost en los Alpes Italianos; Zarroca et al. [148] detalla que en la cuenca Noguera de Vallferra en los Pirineos Centrales alta concentración de Al, Cd, Co, Cu, Ni, Zn y pH ácido por factores climáticos y geomorfológicos (depósitos rocosos periglaciares ricos en pirita) enfatizando que la degradación del permafrost intensifica la producción de DAR a mayor altura; Lacelle et al.[149] y Lacelle y Léveillé [150] especifica que el agua superficial en Eagle Plains, Yukón Canadá tuvo pH< 3.8, altos valores de $SO_4^=$, Fe, Ca y Al, estos están relacionados a formaciones geológicas y al permafrost, especifican que el DAR es un fenómeno que inició en la década de 1970 y la construcción de la autopista Dempster aceleró el proceso. En el contexto regional, en la Cordillera Blanca existen zonas contaminadas naturalmente con DAR están relacionadas con la pérdida de cobertura glaciar y con la formación Chicama; estudios en la subcuenca Quillcay [9, 10] detallan mayor dominio de la formación Chicama en las cabeceras de las microcuencas Quillcayhuanca y Shallap, igualmente en la microcuenca Pachacoto[7].

La subcuenca del rio Negro, se encuentra contaminada con DAR de forma natural. Los factores condicionantes son: una litología con presencia de sulfuros como es la formación geológica Chicama cuya exposición conlleva a la oxidación

y lixiviación, pudiendo generar en mayor proporción acidez, $SO_4^=$ y metales[19, 20, 136, 137]; la disponibilidad del recurso hídrico provisto por la cobertura glaciar provee de agua para la oxidación de las rocas ricas en sulfuros [6], las precipitaciones pluviales [132] y biológicos (bacterias acidófilas oxidantes de sulfuros) [151]. Los factores desencadenantes son el retroceso glaciar, puesto que expone rocas a la meteorización y oxidación, además, liberan mayor cantidad de agua, favoreciendo la producción y transporte de DAR[21-24] y probable presencia de permafrost discontinuo[145 - 150].

La ruta de exposición para determinar el riesgo no carcinogénico (HI) fue por ingestión y contacto dérmico, porque los metales en ambientes acuáticos ingresan al hombre primordialmente por estas dos vías[139]. Los resultados del cálculo de HI para niños y adultos se muestran en la tabla 24.

Los valores de $HI_{Niños}$ de Fe mostraron la existencia de riesgo en QPuma, QSNom3 y QUqui (1.162 – 3.063), asimismo, los valores de ROlle, RNegr, QSNom7, QSNom5, QOtut y LTara (0.428 – 0.984) fueron considerables; y los valores de $HI_{Adultos}$ mostraron la existencia de riesgo en QPuma (1.414), asimismo, valores considerables en LTara2, QSNom3 y QUqui (0.454 – 0.574); el Fe circula en forma libre en la sangre, el cual es tóxico; afecta el metabolismo del corazón, hígado y sistema nervioso central, el Fe induce la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) que puede reaccionar con el ADN [152-153]. Los valores de $HI_{Niños}$ de Li mostraron la existencia de riesgo en QSNom3 (2.003), asimismo, el valor de QSNom5 (0.454) fue considerable; y los valores de $HI_{Adultos}$ no evidenciaron riesgo, sin embargo, el valor en QSNom5 (0.924) es cercano a 1; el Li es neurotóxico y en la mayoría de los casos son irreversibles, asimismo, puede interrumpir la función mitocondrial, ocasionando estrés oxidativo y muerte celular en órganos como riñones y cerebro [155-157]. Los valores de $HI_{Niños}$ y $HI_{Adultos}$ de Al no representa riesgo; el Al es neurotóxico, aumenta niveles de ROS conduciendo a la peroxidación lipídica, inhibición de metaloproteinasas y otros, nefrotóxico, porque promueve la formación de ROS, disminuye el contenido de GSH y la actividad del glutatión peroxidasa, glutatión transferasa y catalasa [158]. Los valores de $HI_{Niños}$ de Co muestra la existencia de riesgo en LTara1, LTara3, QOtut, QPuma, QRure2, QRure3, QSNom3, QSNom5, QSNom7, QUqui y RNegr (1.208 – 8.049) y $HI_{Adultos}$ muestra la existencia de riesgo en LTara1,

LTara3, QOtut, QPuma, QSNom3, QSNom5, QSNom7, QUqui y RNegr (1.062 – 3.7153), asimismo, los valores de QRure2, QRure3 y ROlle (0.558 – 0.982) fueron considerables; el Co es neurotóxico y citotóxico porque puede participar en la fosforilación oxidativa, produciendo un exceso de ROS [159,160]. Los valores de $HI_{Niños}$ y $HI_{Adultos}$ de Mn no representan riesgo; asimismo, el Mn es un neurotóxico único, su toxicidad evoluciona desde anomalías psiquiátricas hasta síntomas análogos a la enfermedad de Parkinson, asimismo, es citotóxico, porque el Mn se acumula en la mitocondria, promoviendo la entrada de Ca, llevando a la perdida funcional y permeabilidad, también induce la producción de ROS [161]. Los valores de $HI_{Niños}$ y $HI_{Adultos}$ de Ni no representaron riesgo; asimismo, el riesgo no carcinogénico del níquel es inmunotóxico [162] y neurotóxico, los mecanismos moleculares no son claros, sin embargo, estarían relacionados al estrés oxidativo por producción de ROS, asimismo, su elevada exposición ocasiona enfermedades gastrointestinales y cardiovasculares[163, 164]. Los valores de $HI_{Niños}$ y $HI_{Adultos}$ de Zn; exposiciones orales crónicas de Zn puede causar efectos negativos en la médula ósea y neurológicos; su ingestión crónica y deficiencia de Cu en el hombre puede provocar síndrome mielodisplásico, granulocitopenia y anemia sideroblástica, también el Zn induce a la neurotoxicidad y muerte asociado a lesiones cerebrales traumáticas[165, 166].

Los resultados de Ni en la subcuenca fueron de 0.00035 a 0.2368 mg/L, registrando mayor concentración en QSNom3 (0.236 mg/L) y QPuma (0.198 mg/L); la IARC[28] clasificó a los compuestos del níquel como cancerígenos para los humanos (grupo 1), esta clasificación incluye al níquel (II); sin embargo, solo la vía inhalatoria es asociada con el cáncer, mientras que la vía oral no [167-169]; asimismo, la carcinogenicidad de los compuestos del níquel principalmente es ocupacional.

De acuerdo con los resultados de la distribución geoespacial del índice de HI (Figura 66, 67 y 68), las áreas de alto riesgo del recurso hídrico de la subcuenca del río Negro se resume de la siguiente manera: (a) las áreas con alto riesgo de Fe fueron la quebrada sin nombre 3, Uquian y Pumahuaganga; (b) las áreas con alto HI de Co fueron laguna Tarahua, quebrada Otuto, Pumahuaganga, Rurec, Uquian, quebrada sin nombre 3, 5 y 7, ríos Negro y Olleros; (c) el área con $HI_{Niños}$ alto riesgo de Li fue la quebrada sin nombre 3.

Los resultados demostraron que la ingesta es la vía principal de exposición en comparación de contacto dérmico en el contexto de la subcuenca del río Negro; asimismo, las limitaciones que se registraron fueron: la falta de datos, principalmente para la dosis oral de referencia (RfD_{oral}, en sus siglas de inglés) del litio [170] y cobalto [171], por ello, se utilizó las dosis de referencia oral provisional (p-RfD, en sus siglas en inglés), asimismo, el Li no cuenta con dosis absorción de referencia (RfD_{abs}, en sus siglas en inglés); la variación interindividual [172], puesto algunos los factores que podrían modificar el riesgo a la salud podrían ser genéticos, edad, sexo, estado de salud, estilo de vida, duración e intensidad de la exposición, entre otras; la evaluación de riesgo fue individual para cada metal, la US EPA[173] menciona que los efectos de los metales en mezclas pueden ser sinérgicos, antagónicos, aditivos y/o potenciadores y la determinación del HI para metales en mezclas es más adecuado para aquellos metales que producen efectos por mecanismos de toxicidad similares, por ello, adoptando el criterio de la US EPA fue individual, Ghosh et al. [174] evaluó el riesgo para la salud para Fe y Mn en agua subterránea de forma conjunta en India, evidenciando HI>1, considerando que el Fe y Mn tienen propiedades químicas y mecanismos de absorción similares; la evaluación del riesgo se realizó en temporada de estiaje [131], época donde existe mayor concentración de metales y la biodisponibilidad[175] de los metales en el agua superficial puede variar como la forma del metal, pH, concentración del metal, materia orgánica y actividad de los microorganismos. Es preciso resaltar que la principal fuente de los parámetros y datos en la presente investigación proviene de la US EPA, y en menor proporción del MINAM, lo que podría no aplicarse en la población peruana.

VII. CONCLUSIONES

1. Los valores de pH, Fe y Mn en QRure2, QRure3, QUqui, RNegr, ROlle y Al en QUqui (6.421 mg/L) estuvieron fuera del rango establecido por el ECA-Categ1.A2, esto sugiere que no son aptos para el consumo humano. Además, los valores de pH, CE y Ni (excepto en LTara2), y Zn en LTara1, LTara2, LTara3, estuvieron fuera del rango establecido por el ECA-Categ4, lo cual afecta la calidad del agua en el área del Parque Huascarán de la subcuenca del río Negro. Asimismo, las concentraciones de Fe (0.11 - 160.85 mg/L), Al (0.022 - 10.573 mg/L), Mn, $SO_4^=$ (1.6 - 493.8 mg/L), Li (0.0002 - 0.3005 mg/L), Co (0.0001 - 0.1811 mg/L) fueron elevadas.
2. El HPI promedio de la subcuenca del río Negro fue 360.959, indicando contaminación alta. De los puntos de muestreo de agua, el 58% (11) tuvo contaminación alta, el 10% (2) tuvo contaminación media y 32% (6) tuvo contaminación baja. Los puntos de muestreo que mostraron HPI más alto fueron QPuma (1627.80), QSNom3 (853.901) y QUqui (705.2026); mientras que los más bajos se registraron en QQuil (4.847), QArar (12.160) y QRure1 (12.311).
3. Según el análisis de componentes principales (PCA) se extrajeron dos componentes que explicaron el 93.155% la varianza total. La PC1 explicó el 84.896% de la varianza y estuvo correlacionada con pH, CE, TDS, salinidad, $SO_4^=$, Fe, S, Al, Co, Mn, Ni, Zn y Li y la PC2 explicó el 8.259% y estuvo correlacionada con el Li. Indicando que la PC1 y PC2 representaron contaminación natural del agua por drenaje ácido. El análisis de conglomerados (CA) indicó que QPuma, QSNom3, QRure2, QRure3, LTara2, QOtut, QSNom5, QSNom7, RNegr, ROlle, LTara3, LTara1 y QUqui estuvieron contaminados con drenaje acido de roca, el cual se genera en la zona glaciar y periglaciar de la zona el cual se encuentra asociado a la perdida de cobertura glaciar y a la Formación Chicama.
4. Se determinó que existe riesgo no carcinogénico en niños, $HI_{Niños}$ (HI≥1) por Fe en QPuma (3.0640), QSNom3 (1.2452) y QUqui (1.1627); por Li en QSNom3 (2.0033) y Co en LTara1 (2.6845), LTara3 (2.5512), QOtut (5.5068), QPuma (2.7601), QRure2 (1.2089), QRure3 (1.9153),

QSNom3 (8.0491), QSNom5 (5.3557), QSNom7 (6.4890), QUqui (3.2312), RNegr (2.3023) y ROlle (2.1289); asimismo existe riesgo no carcinogénico en adultos, $HI_{Adultos}$ (HI≥1) por Fe en QPuma (1.4145) y por Co en LTara1 (1.2391), LTara3 (1.1776), QOtut (2.5418), QPuma (1.2740), QSNom3 (3.7153), QSNom5 (2.4721), QSNom7 (2.9952), QUqui (1.4914), RNegr (1.0627). Asimismo, se demostró que existe mayor riesgo no carcinogénico en niños en comparación con adultos.

5. La distribución geoespacial de la contaminación alta (HPI≥150) se enfocó en las quebradas sin nombre 3, 5, 7, Rurec, Pumahuaganga, Otuto, Uquian, río Negro y Olleros. En cuanto a la distribución geoespacial de HI por Fe se centró en la quebrada Pumahuaganga, Uquian y quebrada sin nombre 3 , HI por Li en la quebrada sin nombre 3, HI por Co se enfocó en los cauces principales de la subcuenca, el HI de Al, Mn, Ni y Zn se enfocaron en la quebrada sin nombre 3 y laguna Tarahua. La distribución geoespacial resaltó que el HPI y HI de Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn en niños y adultos se enfocaron en la cabecera de cuenca, área donde se forma el DAR.

VIII. RECOMENDACIONES

La contaminación natural del agua superficial con pH<4, Al, Mn, Fe, Co, Zn, Ni, Li, S y $SO_4^=$ producto de la oxidación y lixiviación natural de rocas en la cabecera de cuenca glaciar es una realidad en la subcuenca del río Negro, por lo que realizar monitoreos continuos e incrementando los puntos de muestreo podrían proporcionar una mejor perspectiva sobre la contaminación en diferentes épocas del año. Asimismo, se recomienda estudios mineralógicos y geológicos en la subcuenca para determinar las características fisicoquímicas de las rocas y determinar la capacidad de generar DAR contribuiría para adoptar medidas preventivas y/o correctivas. Por otro, lado se recomienda utilizar más índices que midan la calidad integral del agua.

La difusión del estudio a los tomadores de decisiones para incentivar proyectos de descontaminación biológicos o fisicoquímicos a través de la construcción de plantas de tratamiento de agua o de infraestructura natural, así como la siembra y cosecha de agua en aquellas áreas no impactadas con DAR para asegurar agua apta para el consumo humano y para las actividades productivas. Por otro lado, difundir la ubicación de aquellas áreas con agua superficial impactadas o no con DAR contribuirá en la disminución de la exposición a aguas contaminadas a los residentes y turistas; asimismo, concientizar y educar a la población los impactos negativos a la salud y a los medios de vida por la exposición a los metales identificados en la investigación. También, evaluar la salud de la población expuesta al agua contaminada contribuirá en la elaboración y ejecución de programas de atención sanitaria. Finalmente, investigar el efecto del agua contaminada por DAR utilizada en las actividades agrícolas y ganaderas contribuirá con conocimiento la afectación económica, social y a la salud, con la finalidad de elaboración y ejecución de programas para garantizar la seguridad alimentaria.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.), editor. Vol. 2022. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2022.
2. Naciones Unidas. ¿Qué es el cambio climático? | Naciones Unidas [Internet]. Naciones Unidas. 2022 [citado el 28 de abril de 2022]. Disponible en: https://www.un.org/es/climatechange/what-isclimate-change
3. Miotti M, Supran GJ, Kim EJ, Trancik JE. Personal vehicles evaluated against climate change mitigation targets. Environ Sci Technol [Internet]. 2016;50(20):10795–804. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.6b00177
4. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2015. 1ra ed. Lima: INEI; 2022.
5. González Molina M, Jean-Joinville V. El Perú frente al cambio climático Resultados de investigaciones franco-peruanas. 1ra ed. Marsella: IRD Éditions; 2014.
6. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. Inventario Nacional de Glaciares: Las Cordilleras Glaciares del Perú. 1ra ed. Huaraz: INAIGEM; 2018.
7. Santofimia E, López-Pamo E, Palomino E, González-Toril E, Aguilera Á. Acid rock drainage in Nevado Pastoruri glacier area (Huascarán National Park, Perú): hydrochemical and mineralogical characterization and associated environmental implications. Environ Sci Pollut Res Int [Internet]. 2017; 24 (32): 25243–59. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0093-0
8. La Matta F. Influencia de drenaje ácido de roca en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, índices bentónicos de calidad de agua y grupos funcionales alimenticios en ríos y cabeceras de la Cordillera

Blanca (Subcuenca del Quillcay, Áncash). [Tesis de Licenciatura]. Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2020.

9. Martel G. Torres J, Jara W. Variación del pH en Aguas Superficiales Debido a Drenajes Ácidos de Roca en la Subcuenca Quillcay, Huaraz, Ancash. Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña [Internet]. 2018;(5). Disponible en: http://dx.doi.org/10.36580/rgem.i5.57-68
10. Reyes A. Contaminación por metales pesados de aguas y suelos en la microcuenca Quilcayhuanca; su relación con la litología y el contexto de cambio climático; Huaraz Ancash Perú. [Tesis de Licenciatura]. Huaraz: Universidad Santiago Antunez de Mayolo; 2018.
11. Ruiz P, Arauz A, García J, Villalobos G, Sedó A y Suárez C. Drenaje ácido de rocas en taludes de la ruta nacional 27, San José – Caldera, Costa Rica. Rev. Geológica de América Central. 2015; 53: 25-46.
12. Treskow V. Drenaje ácido de natural: El caso campos ahumada, Chile Central. [Tesis de Licenciatura]. Santiago de Chile: Universidad de Chile;2019.
13. Jaramillo A, Contreras M. Tratamiento de drenajes ácido de mina de carbón mediante humedales artificiales – Caso de estudio Quebrada Chocho en el corregimiento de Montebello Cali [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma de Occidente; 2019.
14. Rodríguez J, Mandalunis PM. A review of metal exposure and its effects on bone health. J Toxicol [Internet]. 2018;2018:4854152. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1155/2018/4854152
15. Mamtani R, Stern P, Dawood I, Cheema S. Metals and disease: a global primary health care perspective. J Toxicol [Internet]. 2011;2011:319136. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1155/2011/319136
16. Autoridad Nacional del Agua. Evaluación de la calidad del agua y de los sedimentos en la cuenca del río Santa, noviembre de 2013: Informe técnico [Internet]. hdl.handle.net. 2013 [citado el 28 de abril de 2022]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12543/867
17. Autoridad Nacional del Agua. Evaluación de la calidad del agua y de los sedimentos en la cuenca del río Santa, abril 2014: informe técnico

[Internet]. hdl.handle.net. 2014 [citado el 28 de abril de 2022]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12543/2375

18. Autoridad Nacional del Agua. Resultados del 3er monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Santa 2015 [Internet]. hdl.handle.net. 2016 [citado el 28 de abril de 2022]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12543/865
19. Grande J, Loayza-Muro R, Alonso-Chaves F, Fortes J, Willems B, Sarmiento A, et al. The Negro River (Ancash-Peru): A unique case of water pollution, three environmental scenarios and an unresolved issue. Sci Total Environ [Internet]. 2018;648:398–407. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.068
20. Universidad de Amsterdam. (1) Driessen, C., Reijman, T. y Tel, T. - Distribution of abiotic factors in Canrey Chico and their relationship to vegetation. (2) Bösken, J. y Van der Meulen, M. - Hydrochemical assessment of the Canrey Chico catchment in the Cordillera Blanca. (3) de Graaf, L. y van Hall, R. L. - The use of soils as a natural buffer for the contaminated waters in the río Negro catchment, Cordillera Blanca, Peru. (4) Stroo, J. I. L. - Postglacial soil development on deglaciated features in the Canrey Chico catchment. 2012.
21. Burns P, Nolin A. Using atmospherically corrected Landsat imagery to measure glacier area change in the Cordillera Blanca, Peru from 1987 to 2010. Remote Sens Environ [Internet]. 2014;140:165–78. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.026
22. Vuille M, Francou B, Wagnon P, Juen I, Kaser G, Mark BG, et al. Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. Earth Sci Rev [Internet]. 2008;89(3–4):79–96. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.002
23. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO. The Impact of glacier retreat in the Andes: international multidisciplinary network for adaptation strategies; accomplishment report [Internet]. Unesco.org. 2017 [citado el 19 de marzo de 2023]. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000258168
24. Autoridad Nacional del Agua. Perú perdió el 51% de sus glaciares debido al cambio climático [Internet]. ana.gob.pe. [citado el 19 de marzo

de 2023]. Disponible en: http://www.ana.gob.pe/noticia/peru-perdio-el-51-de-sus-glaciares-debido-al-cambio-climatico

25. Ministerio del Ambiente. Glosario de términos para la formulación de proyectos ambientales (documento de trabajo) [Internet].Repositoriodigital.minam.gob.pe. 2022 [citado el 09 noviembre de 2022]. Disponible en: https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/405
26. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Glosario Ambiental Bilingüe [Internet]. US EPA. 2022 [citado el 16 de enero de 2023]. Disponible en: https://espanol.epa.gov/espanol/glosario-ambiental-bilingue
27. Wei S, Zhang H, Tao S. A review of arsenic exposure and lung cancer. Toxicol Res (Camb). 2019 Jan 23;8(3):319-327. doi: 10.1039/c8tx00298c. PMID: 31160966; PMCID: PMC6505385.https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-c
28. World Health Organization. Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–132 [Internet]. World Health Organization. World Health Organization; [citado el 09 noviembre de 2022]. Disponible en: https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/
29. US EPA. Human Health Risk Assessment [Internet]. EPA. Environmental Protection Agency; [citado el 16 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment
30. World Health Organization. IPCS Risk Assessment Terminology. 1ra ed. Ginebra: WHO; 2004.
31. National Research Council. Science and Judgment in Risk Assessment. 1ra ed. Washington D.C: National Academies Press; 1994.
32. Bridges J. Human health and environmental risk assessment: The need for a more harmonised and Integrated Approach. Chemosphere. 2003;52(9):1347–51.
33. Chartres N, Bero LA, Norris SL. A review of methods used for hazard identification and risk assessment of environmental hazards. Environment International. 2019;123:231–9.

34. Northern Health. Guidance on human health risk assessment [Internet]. Northern Health. Northern Health; [citado el 16 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.northernhealth.ca/sites/northern_health/files/services/office-health-resource-development/documents/guidance-human-health-risk-assessment.pdf
35. National Research Council. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. 1ra ed. Washington D.C: National Academies Press; 1983.
36. Dourson ML, Felter SP, Robinson D. Evolution of science-based uncertainty factors in noncancer risk assessment. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 1996;24(2):108–20.
37. Power M, McCarty LS. Trends in the development of Ecological Risk Assessment and management frameworks. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2002;8(1):7–18.
38. US EPA. Guidelines for human exposure assessment [Internet]. EPA. Environmental Protection Agency; [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.epa.gov/risk/guidelines-human-exposure-assessment
39. US EPA. Framework for human health risk assessment to inform decision marking [Internet]. EPA. Environmental Protection Agency; [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.epa.gov/risk/framework-human-health-risk-assessment-inform-decision-making
40. US EPA. About the exposure factors handbook [Internet]. EPA. Environmental Protection Agency; [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.epa.gov/risk/framework-human-health-risk-assessment-inform-decision-making
41. US EPA. Concepts, methods, and data sources for cumulative health risk assessment of multiple chemicals, exposures and effects: a resource document (final report, 2008) [Internet]. EPA. Environmental Protection Agency; [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=190187

42. US EPA. A framework for assessing xizhealth risk of environmental exposures to children (2006, final) [Internet]. EPA. Environmental Protection Agency; [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=158363
43. US EPA. Handbook for non-cancer health effects valuation [Internet]. EPA. Environmental Protection Agency; citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://nepis.epa.gov/
44. US EPA. Risk characterization handbook [Internet]. EPA. Environmental Protection Agency; [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.epa.gov/risk/risk-characterization-handbook
45. US EPA. Risk assessment guidance for superfund (RAGS): Part A [Internet]. EPA. Environmental Protection Agency; [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part
46. Government of Canada PSand PC. Guidance for evaluating human health impacts in environmental assessment: Human health risk assessment.: H129-54/6-2019E-PDF [Internet]. Government of Canada Publications - Canada.ca. Health Canada; 2013 [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://publications.gc.ca/site/eng/9.870475/publication.html
47. Canada Health. Government of Canada [Internet]. Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada: Supplemental Guidance on Human Health Risk Assessment of Oral Bioavailability of Substances in Soil and Soil-Like Media - Canada.ca. Gouvernement du Canada; 2018 [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/contaminated-sites/federal-contaminated-site-risk-assessment-canada-supplemental-guidance-human-health-risk-assessment-oral-bioavailability.html
48. Canadian Council of Ministers of the Environment. Guidance Manual for Environmental Site Characterization in Support of Environmental and Human Health Risk Assessment [Internet]. Canadian Council of Ministers of the Environment. CCME; 2016 [citado el 19 de enero de

2023]. Disponible en: https://ccme.ca/en/res/guidancemanual-environmentalsitecharacterization_vol_1e.pdf

49. Canada Health. Government of Canada [Internet]. Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada, Part I: Guidance on Human Health Preliminary Quantitative Risk Assessment (PQRA), Version 2.0 - Canada.ca. Gouvernement du Canada; 2012 [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/contaminated-sites/federal-contaminated-site-risk-assessment-canada-part-guidance-human-health-preliminary-quantitative-risk-assessment-pqra-version-2-0.html
50. Australian Government Department of Health and Aged Care. EnHealth guidance – guidelines for assessing human health risks from environmental hazards [Internet]. Australian Government Department of Health and Aged Care. Australian Government Department of Health and Aged Care; 2012 [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.health.gov.au/resources/publications/enhealth-guidance-guidelines-for-assessing-human-health-risks-from-environmental-hazards?language=en
51. Environment Agency. Contaminated land exposure assessment (CLEA) tool [Internet]. GOV.UK. GOV.UK; 2015 [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.gov.uk/government/publications/contaminated-land-exposure-assessment-clea-tool
52. Environment Agency. Human health toxicological assessment of contaminants in soil (Sr2) [Internet]. GOV.UK. GOV.UK; 2009 [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.gov.uk/government/publications/human-health-toxicological-assessment-of-contaminants-in-soil
53. Ministerio de ecología y medio ambiente. Directrices técnicas para la evaluación de riesgos de sitios contaminados HJ.25.3-2014 [Internet]. english.mee.gov.cn. República Popular China; 2014 [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en:

https://english.mee.gov.cn/Resources/standards/Soil/Method_Standard4/201605/t20160506_337324.shtml

54. World Health Organization. Who human health risk assessment toolkit: Chemical hazards, Second Edition [Internet]. World Health Organization. World Health Organization; [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.who.int/publications/i/item/9789240035720

55. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados [Internet]. gob.mx. SEMARNAT; [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/biblioteca-digital-ciga-de-la-semarnat

56. Ministerio del Ambiente. Guía para la elaboración de estudios de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados. 1ª ed. Lima: Ministerio del Ambiente; 2015.

57. US EPA. Conducting a Human Health Risk Assessment [Internet]. EPA. Environmental Protection Agency; [citado el 19 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.epa.gov/risk/conducting-human-health-risk-assessment

58. Gupta P. Fundamentals of toxicology: Essential concepts and applications. 1ra ed. Boston: Elsevier Science; 2016.

59. Pope C, Liu J. An introduction to interdisciplinary toxicology: From molecules to man. 1ra ed. London: Academy Press; 2020.

60. US EPA. Review of the reference dose and reference concentration processes document [Internet]. EPA. Environmental Protection Agency; [citado el 24 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.epa.gov/risk/review-reference-dose-and-reference-concentration-processes-document

61. Varshavsky JR, Rayasam SD, Sass JB, Axelrad DA, Cranor CF, Hattis D, et al. Current practice and recommendations for advancing how human variability and susceptibility are considered in chemical risk assessment. Environmental Health. 2023Jan12;21(S1).

62. US EPA. Guidelines for carcinogen risk assessment [Internet]. EPA. Environmental Protection Agency; [citado el 24 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.epa.gov/risk/guidelines-carcinogen-risk-assessment
63. National Library of Medicine (NLM). Dose-response assessment [Internet]. ToxTutor - Dose-Response Assessment. NLM; [citado el 24 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.oraulearning.org/topclass/media/a7ab6ff6-ccb2-4f0c-80ca-7a56b7015f8a/06-003.html
64. Broughton L, Bonelli J, Ministerio de Energía y Minas. Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas. 1ra. ed. Lima: Ministerio de Energía y Minas; 1995.
65. International Network for Acid Prevention. Global Acid Rock Drainage Guide. 1ra ed. Ottawa: International Network for Acid Prevention; 2009.
66. Plumlee G, Logsdon M, Filipek L. The environmental geochemistry of mineral deposits: Part A: Processes, techniques, and health issues part B: Case studies and research topics. Society of Economic Geologists; 1997.
67. Ibañez P. Modelación del efecto de drenaje acido en un depósito epitermal Au-Cu sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneos cercanos. [Tesis de Maestría]. Santa Rosa: Universidad Nacional de la Pampa; 2015.
68. Hurlbut CS. Manual de mineralogía 1. Reverte Ediciones; 1998
69. Real Academia Española. Diccionario de la lengua española [Internet]. dle.rae.es. 2022 [citado el 09 de noviembre de 2022]. Disponible en: https://dle.rae.es/?w=metal
70. Sekhon BS. Metalloid compounds as drugs. Res Pharm Sci. 2013;8(3):145–58.
71. Vásquez A, Mejía A, Faustino J, Terán R, Vásquez I, Díaz J, Vásquez C, Castro A, Tapia M y Alcántara J. Manejo y gestión de cuencas hidrográficas. 1ra ed. Lima: Universidad Nacional Agraria de La Molina; 2016.

72. Breña A y Jacobo M. Principios y fundamentos de la hidrología superficial. 1ra ed. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana; 2013.
73. Worl Visión. Manual de manejo de cuencas. 1ra ed. La Paz: Worl Visión; 2004.
74. Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas [Internet]. Boe.es. [citado el 18 de febrero de 2023]. Disponible en: https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2000-82524
75. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Estado y calidad de las Aguas superficiales [Internet]. Gob.es. [citado el 18 de febrero de 2023]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/
76. Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and health impacts of air pollution: A review. Front Public Health [Internet]. 2020;8:14. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014
77. Poonam Y, Usha K, Singh B. Air pollution mitigation and global dimming: a challenge to agriculture under changing climate. In: Shanker A, Shanjer C, Anand A, Maheswari M, ed. by. Climate Change and Crop Stress. 1st ed. New Delhi: Academic Press; 2021.
78. Dagar J, Yadav R, Sharma P. Research Developments in Saline Agriculture. 1ra ed. Singapur: Springer Nature; 2019. p.437-438.
79. Kumar V, Sharma A, Cerdà A. Metales pesados en el medio ambiente: impacto, evaluación y remediación Heavy metals in the environment : impact, assessment, and remediation. 1ra ed. Elsevier; 2020. p.168-169.
80. US EPA. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual. 1ª ed. Washington D.C.; 2004.
81. Zimmer A, Brito Rodríguez M, Alegre Oropeza C, Sánchez León J, Recharte Bullard J. Implementación de Dos Sistemas de

Biorremediación como Estrategia para la Prevención y Mitigación de los Efectos del Drenaje Ácido de Roca en la Cordillera Blanca, Perú. Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña. 2018;(4):57-76.

82. Ministerio de Educación. Descarga de información espacial del MED [Internet]. Sigmed.minedu.gob.pe. 2020 [citado el 2 de junio de 2022]. Disponible en: http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/

83. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Perú: Crecimiento y distribución de la población total, 2017. 1ra ed. Lima: INEI; 2018. Pág.41.

84. Hernández Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio M. Metodología de la investigación. 5ª ed. Ciudad de México: The McGrawHill; 2022.

85. Autoridad Nacional del Agua. Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales [Internet]. Repositorio.ana.gob.pe. 2016 [citado el 16 de noviembre de 2022]. Disponible en: https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/209

86. Autoridad Nacional del Agua. Observatorio del Agua - ANA [Internet]. Gob.pe. [citado el 16 de noviembre de 2022]. Disponible en: https://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/

87. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. Geo ANP [Internet]. Gob.pe. [citado el 16 de noviembre de 2022]. Disponible en: https://geo.sernanp.gob.pe/visorsernanp/

88. Ministerio de Energía y Minas. R.M. Nº 335-2022-MINEM/DM [Internet]. Gob.pe. [citado el 17 de noviembre de 2022]. Disponible en: http://www.minem.gob.pe/_legislacionM.php?idSector=1&idLegislacion=13493

89. Ministerio de Energía y Minas. Inventario de Pasivos Ambientales Subsector Hidrocarburos - Asuntos Ambientales de Hidrocarburos [Internet]. Gob.pe. [citado el 17 de noviembre de 2022]. Disponible en: https://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=22&idTitular=8884&idMenu=sub8883&idCateg=1635

90. Huanca E, Llanos A, Navarro A, Quispe I, Rivas M, Velasquez P. Sistema de Consulta de Centros Poblados [Internet]. Gob.pe. [citado el

17 de noviembre de 2022]. Disponible en: http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/

91. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Directorio Nacional de Comunidades Nativas y Campesinas 2017 [Internet]. Gob.pe. [citado el 17 de noviembre de 2022]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1597

92. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Mapa vial del distrito de Olleros, provincia de Huaraz, departamento de Áncash [Internet]. Gob.pe. [citado el 17 de noviembre de 2022]. Disponible en: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/Mapas%20Distritales/Áncash/AN_020108%20OLLEROS.pdf

93. Contraloría General de la República. Obras del distrito de Olleros, provincia de Huaraz, departamento de Áncash [Internet]. Sistema de Información de Obras Públicas. [citado el 17 de noviembre de 2022]. Disponible en: https://apps.contraloria.gob.pe/ciudadano/wfm_obras_resultados.aspx?tipo=S

94. Contraloría General de la República. Ficha resumen de la obra construcción y mejoramiento del sistema de riego de Rurek, distrito de Olleros - Huaraz - Áncash [Internet]. Sistema de Información de Obras Públicas. [citado el 17 de noviembre de 2022]. Disponible en: https://apps.contraloria.gob.pe/ciudadano/wfm_obras_mostrar_1.aspx?ID=Rgfgk%e2%80%a2

95. Contraloría General de la República. ficha resumen de la obra construcción de captación de agua en el(la) recarga hídrica en los distritos de Recuay, Yungar y Carhuaz Áncash para 02 unidades productoras de los sistemas de riego mejoramiento de la captación y canal de riego Guadalupito Viru La Libertad y canal San Miguel, distrito de Caraz, provincia Huaylas, departamento Áncash [Internet]. Sistema de Información de Obras Públicas. [citado el 17 de noviembre de 2022]. Disponible en: https://apps.contraloria.gob.pe/ciudadano/wfm_obras_mostrar_1.aspx?ID=Rkioi%E2%80%93

96. Hanna Instrument. Multiparamétrico portátil (pH/mV , ORP , CE , TDS , Resistividad, Salinidad, OD y Temperatura) [Internet]. Hannainst.es. [citado el 21 de febrero de 2023]. Disponible en: https://www.hannainst.es/parametros/4646-multiparametrico-portatil-ph-mv-orp-ce-tds-resistividad-salinidad-od-y-temperatura.html#/507-cable_m-4_m
97. Díaz A. Efectos del ruido instrumental en la determinación potenciométrica de cloruros en agua potable y suero fisiológico utilizando como electrodo selectivo un electrodo de vidrio desechado. [Tesis de Licenciatura]. León: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León; 2015.
98. Hanna Instrument. Tecnología de medida de oxígeno disuelto [Internet]. Hannainst.es. [citado el 21 de febrero de 2023]. Disponible en: https://www.hannainst.es/blog/1485/tecnologia-de-medida-de-oxigeno-disuelto
99. Solís-Castro Y, Zúñiga-Zúñiga LA, Mora-Alvarado D. La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. Rev Tecnol Marcha [Internet]. 2018;31(1):35. Disponible en: http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495
100. Hanna Instruments. Conductividad y sólidos disueltos [Internet]. Hannainst.es. [citado el 22 de febrero de 2023]. Disponible en: https://www.hannainst.es/blog/79/conductividad-y-solidos-disueltos
101. Alzate E, Monte J, Silva C. Medición de temperatura: sensores termoeléctricos. Ciencia y Técnica [Internet]. 2007; 13(34): 1-6. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84934001
102. US EPA. EPA method 300.1, revision 1.0: Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography. 2019 [citado el 22 de febrero de 2023]; Disponible en: https://www.epa.gov/esam/epa-method-3001-revision-10-determination-inorganic-anions-drinking-water-ion-chromatography
103. Weiss J. Handbook of Ion Chromatography. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2016.
104. US EPA. Method 200.7: Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission

spectrometry. 2019 [citado el 22 de febrero de 2023]; Disponible en: https://www.epa.gov/esam/method-2007-determination-metals-and-trace-elements-water-and-wastes-inductively-coupled

105. Michalke B, Nischwitz V. Speciation and element-specific detection. En: Liquid Chromatography. Elsevier; 2013. p. 633–49.
106. Pramanik S, Das P. Metal-based nanomaterials and their polymer nanocomposites. En: Nanomaterials and Polymer Nanocomposites. Elsevier; 2019. p. 91–121.
107. US EPA. EPA method 200.8: Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma-mass spectrometry. 2019 [citado el 22 de febrero de 2023]; Disponible en: https://www.epa.gov/esam/epa-method-2008-determination-trace-elements-waters-and-wastes-inductively-coupled-plasma-mass
108. Abou-Shakra F. Biomedical applications of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP–MS) as an element specific detector for chromatographic separations. En: Bioanalytical Separations. Elsevier; 2003. p. 351–71.
109. Autoridad Nacional del Agua. Clasificación de Cuerpos de Agua Continentales Superficiales [Internet]. 2018 [citado el 29 de noviembre de 2022]. Disponible en: http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._056-2018-ana_0.pdf
110. Ministerio del Ambiente. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias [Internet]. Sistema Nacional de Información Ambiental. [citado el 14 de marzo de 2023]. Disponible en: https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones
111. Qu L, Huang H, Xia F, Liu Y, Dahlgren RA, Zhang M, et al. Risk analysis of heavy metal concentration in surface waters across the rural-urban interface of the Wen-Rui Tang River, China. Environ Pollut [Internet]. 2018;237:639–49. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.020
112. Razak M, Aris A, Zakaria N, Wee S, Ismail N. Accumulation and risk assessment of heavy metals employing species sensitivity distributions

in Linggi River, Negeri Sembilan, Malaysia. Ecotoxicol Environ Saf [Internet]. 2021;211(111905):111905. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111905

113. Wanda EMM, Gulula LC, Phiri G. Determination of characteristics and drinking water quality index in Mzuzu City, Northern Malawi. Phys Chem Earth (2002) [Internet]. 2012;50–52:92–7. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2012.09.004

114. Kwaya M, Hamidu H, Mohammed AI, Abdulmumini Y, Adamu IH, Grema H, et al. Heavy Metals Pollution Indices and Multivariate Statistical Evaluation of Groundwater Quality of Maru town and environs. 2019;10(1):32–44.

115. Karunanidhi D, Aravinthasamy P, Subramani T, Setia R. Effects of COVID-19 pandemic lockdown on microbial and metals contaminations in a part of Thirumanimuthar River, South India: A comparative health hazard perspective. J Hazard Mater [Internet]. 2021;416(125909):125909. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125909

116. Chakraborty B, Bera B, Adhikary PP, Bhattacharjee S, Roy S, Saha S, et al. Effects of COVID-19 lockdown and unlock on the health of tropical large river with associated human health risk. Environ Sci Pollut Res Int [Internet]. 2022;29(24):37041–56. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-17881-w

117. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Ginebra: World Health Organization; 2022.

118. US EPA. National Primary Drinking Water Regulations. 2015 [citado el 22 de febrero de 2023]; Disponible en: https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations

119. Li K, Cui S, Zhang F, Hough R, Fu Q, Zhang Z, et al. Concentrations, possible sources and health risk of heavy metals in multi-media environment of the Songhua River, China. Int J Environ Res Public Health [Internet]. 2020;17(5):1766. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17051766

120. Rodriguez-Proteau R, Grant R. Toxicity evaluation and human health risk assessment of surface and ground water contaminated by recycled hazardous waste materials. En: The Handbook of Environmental Chemistry. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2005. p. 133–189
121. Instituto de Estadística e Informática. Perú: Estimadores y proyecciones de población por departamento, sexo y grupos quinquenales de edad 1995-2025. 1ª ed. Lima: INEI; 2009.
122. Asante-Duah K. Public health risk assessment for human exposure to chemicals. 2a ed. Dordrecht, Netherlands: Springer; 2017
123. US EPA. Regional screening levels (RSLs) - Generic Tables [Internet]. US EPA. 2015 [citado el 30 de noviembre de 2022]. Disponible en: https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables
124. US EPA. Provisional peer-reviewed toxicity values (PPRTVs) assessments [Internet]. US EPA. 2018 [citado el 28 de marzo de 2023]. Disponible en: https://www.epa.gov/pprtv/provisional-peer-reviewed-toxicity-values-pprtvs-assessments
125. Li S, Zhang Q. Risk assessment and seasonal variations of dissolved trace elements and heavy metals in the Upper Han River, China. J Hazard Mater [Internet]. 2010;181(1–3):1051–8. Disponible en: http://sourcedb.wbg.cas.cn/zw/rck/200907/W020120116538171476560.pdf
126. Kamunda C, Mathuthu M, Madhuku M. Health risk assessment of heavy metals in soils from Witwatersrand gold mining basin, South Africa. Int J Environ Res Public Health [Internet]. 2016;13(7). Disponible en: http://dx.doi.org/10.3390/ijerph13070663
127. Pappas R. Sample Preparation Problem Solving for Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry with Liquid Introduction Systems I. Solubility, Chelation, and Memory Effects. Spectroscopy (Springf). 2012 May 1;27(5):20-31.
128. Wilschefski SC, Baxter MR. Inductively coupled plasma mass spectrometry: Introduction to analytical aspects. Clin Biochem Rev [Internet]. 2019;40(3):115–33. Disponible en: http://dx.doi.org/10.33176/AACB-19-00024

129. Lanegra Quispe I. La Regulación de la Incertidumbre: Un Análisis Crítico del Principio Precautorio. D&S [Internet]. 16jul.2010 [citado el 30 de noviembre de 2022]; (35): 99 - 103. Disponible en: https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoysociedad/article/view/13265
130. Kriebel D, Tickner J, Epstein P, Lemons J, Levins R, Loechler EL, et al. The precautionary principle in environmental science. Environ Health Perspect [Internet]. 2001;109(9):871–6. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1289/ehp.01109871
131. US EPA. Data quality assessment statistical methods for practitioners EPA qa/G9-S - scholar's choice edition. London, ON, Canadá: Scholar's Choice; 2015.
132. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Evaluación de peligros geológicos en instituciones educativas y puesto de salud del centro poblado de Olleros y en la Institución Educativa N° 240 del centro poblado de Huaripampa. Región Ancash, provincia Huaraz, distrito Olleros. 2020 [citado el 14 de marzo de 2023]; Disponible en: https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2777
133. Gao S, Wang Z, Wu Q, Zeng J. Multivariate statistical evaluation of dissolved heavy metals and a water quality assessment in the Lake Aha watershed, Southwest China. PeerJ [Internet]. 2020;8(e9660):e9660. Disponible en: http://dx.doi.org/10.7717/peerj.9660
134. Xu S, Lang Y, Zhong J, Xiao M, Ding H. Coupled controls of climate, lithology and land use on dissolved trace elements in a karst river system. J Hydrol (Amst) [Internet]. 2020;591(125328):125328. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125328
135. Dunuweera SP, Rajapakse RMG. Cement types, composition, uses and advantages of nanocement, environmental impact on cement production, and possible solutions. Adv Mater Sci Eng [Internet]. 2018;2018:1–11. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1155/2018/4158682
136. Leyva M. Capacidad secuestradora de metales pesados en el sedimento del humedal alto andino Collotacocha – Canrey – Recuay –

Ancash, periodo abril – septiembre 2016. [Tesis de Maestría]. Huaraz: Universidad Santiago Antunez de Mayolo; 2017.

137. Morales A. Absorción y acumulación de metales pesados en las especies *Distichia muscoides* y *Juncus articus* Willd en el humedal de Uquián, Canrey Chico – Recuay – Áncash en el periodo de agosto 2018 – marzo 2019. [Tesis de Licenciatura]. Huaraz: Universidad Santiago Antunez de Mayolo; 2019.
138. Cupani A. Acerca de la vigencia del ideal de objetividad científica. Sci stud [Internet]. 2011;9(Sci. stud., 2011 9(3)):501–25. Disponible en: https://doi.org/10.1590/S1678-31662011000300004
139. Zhang X, Wu Q, Gao S, Wang Z, He S. Distribution, source, water quality and health risk assessment of dissolved heavy metals in major rivers in Wuhan, China. PeerJ [Internet]. 2021;9(e11853):e11853. Disponible en: http://dx.doi.org/10.7717/peerj.11853
140. Tengku Ibrahim T, Othman F, Mahmood N. Baseline study of heavy metal pollution in a tropical river in a developing country. Sains Malays [Internet]. 2020;49(4):729–42. Disponible en: http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2020-4904-02
141. Bhardwaj R, Gupta A, Garg JK. Evaluation of heavy metal contamination using environmetrics and indexing approach for River Yamuna, Delhi stretch, India. Water Sci [Internet]. 2017;31(1):52–66. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.wsj.2017.02.002
142. Dey M, Akter A, Islam S, Chandra Dey S, Choudhury TR, Fatema KJ, et al. Assessment of contamination level, pollution risk and source apportionment of heavy metals in the Halda River water, Bangladesh. Heliyon [Internet]. 2021;7(12):e08625. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08625
143. Khadija D, Hicham A, Rida A, Hicham E, Nordine N, Najlaa F. Surface water quality assessment in the semi-arid area by a combination of heavy metal pollution indices and statistical approaches for sustainable management. Environmental Challenges [Internet]. 2021; 5 (100230): 100230. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.envc.2021.100230
144. Duffus J. “Heavy Metals – A meaningless term”. Pure Apply . Chem. 2002; 74(5):793-807.

145. León H. Línea de congelamiento como probable límite de extensión del permafrost y su relación con la cobertura de nieve en la Cordillera de los Andes de Perú, 2019. [Tesis de Maestría]. Huaraz: Universidad Santiago Antunez de Mayolo; 2020.
146. Ilyashuk B, Ilyashuk EA, Psenner R, Tessadri R, Koinig K. Rock glaciers in crystalline catchments: Hidden permafrost-related threats to alpine headwater lakes. Glob Chang Biol [Internet]. 2018;24(4):1548–62. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13985
147. Tolotti M, Cerasino L, Donati C, Pindo M, Rogora M, Seppi R, et al. Alpine headwaters emerging from glaciers and rock glaciers host different bacterial communities: Ecological implications for the future. Sci Total Environ [Internet]. 2020;717(137101):137101. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137101
148. Zarroca M, Roqué C, Linares R, Salminci JG, Gutiérrez F. Natural acid rock drainage in alpine catchments: A side effect of climate warming. Sci Total Environ [Internet]. 2021;778(146070):146070. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146070
149. Lacelle D, Doucet A, Clark ID, Lauriol B. Acid drainage generation and seasonal recycling in disturbed permafrost near Eagle Plains, northern Yukon Territory, Canada. Chem Geol [Internet]. 2007;243(1–2):157–77. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.05.021
150. Lacelle D, Léveillé R. Acid drainage generation and associated Ca–Fe–SO4 minerals in a periglacial environment, Eagle Plains, Northern Yukon, Canada: A potential analogue for low-temperature sulfate formation on Mars. Planet Space Sci [Internet]. 2010;58(4):509–21. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.pss.2009.06.009
151. Downing BW. The microbiology of acid drainage. En: Acid Mine Drainage, Rock Drainage, and Acid Sulfate Soils. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2014. p. 61–65
152. Yuen H-W, Becker W. Iron Toxicity. StatPearls Publishing; 2022
153. Terpiłowska S, Siwicka-Gieroba D, Siwicki AK. Cytotoxicity of iron (III), molybdenum (III), and their mixtures in BALB/3T3 and HepG2 cells. J Vet Res [Internet]. 2018;62(4):527–33. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2478/jvetres-2018-0066

154. Pilo F, Angelucci E. A storm in the niche: Iron, oxidative stress and haemopoiesis. Blood Rev [Internet]. 2018;32(1):29–35. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.blre.2017.08.005
155. Chokhawala K, Lee S, Saadabadi A. Lithium. StatPearls Publishing; 2023.
156. Hedya SA, Avula A, Swoboda HD. Lithium Toxicity. StatPearls Publishing; 2023.
157. Yousefsani B, Askian R, Pourahmad J. A new approach on lithium-induced neurotoxicity using rat neuronal cortical culture: Involvement of oxidative stress and lysosomal/mitochondrial toxic Cross-Talk. Main Group Met Chem [Internet]. 2020;43(1):15–25. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1515/mgmc-2020-0003.
158. Rahimzadeh M, Rahimzadeh M, Kazemi S, Amiri R, Pirzadeh M, Moghadamnia A. Aluminum poisoning with emphasis on its mechanism and treatment of intoxication. Emerg Med Int [Internet]. 2022;2022:1480553. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1155/2022/1480553
159. Chen RJ, Lee VR. Cobalt Toxicity. StatPearls Publishing; 2022.
160. Simonsen LO, Harbak H, Bennekou P. Cobalt metabolism and toxicology--a brief update. Sci Total Environ [Internet]. 2012; 432: 210–5. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.009
161. Evans GR, Masullo LN. Manganese Toxicity. StatPearls Publishing; 2023
162. Guo H, Liu H, Jian Z, Cui H, Fang J, Zuo Z, et al. Immunotoxicity of nickel: Pathological and toxicological effects. Ecotoxicol Environ Saf [Internet]. 2020;203(111006):111006. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111006
163. Begum W, Rai S, Banerjee S, Bhattacharjee S, Mondal MH, Bhattarai A, et al. A comprehensive review on the sources, essentiality and toxicological profile of nickel. RSC Adv [Internet]. 2022;12(15):9139–53. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1039/d2ra00378c
164. Genchi G, Carocci A, Lauria G, Sinicropi MS, Catalano A. Nickel: Human health and environmental toxicology. Int J Environ Res Public Health [Internet]. 2020;17(3):679. Disponible en:

http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17030679

165. Agnew UM, Slesinger TL. Zinc Toxicity. StatPearls Publishing; 2022.

166. Morris DR, Levenson CW. Neurotoxicity of zinc. Adv Neurobiol [Internet]. 2017;18:303–12. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-60189-2_15

167. Oak Ridge Reservation Environmental Restoration Program. Formal toxicity summary for nickel and nickel compounds [Internet]. Ornl.gov. 2006 [citado el 24 de marzo de 2023]. Disponible en: https://rais.ornl.gov/tox/profiles/nickel_and_nickel_compounds_f_V1.html

168. Oller AR. Respiratory carcinogenicity assessment of soluble nickel compounds. Environ Health Perspect [Internet]. 2002;110 Suppl 5:841–4. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1289/ehp.02110s5841

169. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, Del Mazo J, et al. Update of the risk assessment of nickel in food and drinking water. EFSA J [Internet]. 2020;18(11):e06268. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6268

170. US EPA. Provisional peer reviewed toxicity values for lithium [Internet]. Epa.gov. 2008 [citado el 24 de marzo de 2023]. Disponible en: https://cfpub.epa.gov/ncea/pprtv/documents/Lithium.pdf

171. US EPA. Provisional peer reviewed toxicity values for cobalt [Internet]. Epa.gov. 2008 [citado el 24 de marzo de 2023]. Disponible en: https://cfpub.epa.gov/ncea/pprtv/documents/Cobalt.pdf

172. Board on Life Sciences, Division on Earth and Life Studies, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Interindividual variability: New ways to study and implications for decision making: Workshop in brief. Betts K, Shelton-Davenport M, editors. Washington, D.C.: National Academies Press; 2016.

173. US EPA. Framework for metals risk assessment. Bibliogov; 2013.

174. Ghosh GC, Khan MJH, Chakraborty TK, Zaman S, Kabir AHME, Tanaka H. Human health risk assessment of elevated and variable iron and manganese intake with arsenic-safe groundwater in Jashore, Bangladesh. Sci Rep [Internet]. 2020;10(1):5206. Disponible en:

http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-62187-5

175. Adams W, Blust R, Dwyer R, Mount D, Nordheim E, Rodriguez PH, et al. Bioavailability assessment of metals in freshwater environments: A historical review. Environ Toxicol Chem [Internet]. 2020;39(1):48–59. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1002/etc.4558

X. ANEXOS

ANEXO A: Matriz de consistencia

<table>
<tr><th>Problema de Investigación</th><th>Hipótesis</th><th>Variables</th><th>Objetivos</th><th>Métodos</th><th>Instrumentos</th></tr>
<tr><td>Problema General</td><td>Hipótesis General</td><td>Variable dependiente</td><td>Objetivo General</td><td rowspan="3"><u>Tipo de Investigación</u>
Estudio es descriptivo con diseño no experimental, transversal.

<u>Población</u>
La población de estudio estuvo conformada por el agua superficial de la subcuenca del río Negro.

<u>Muestra</u>
Constó de 21 muestras de agua superficial de la subcuenca del río Negro en temporada de estiaje (agosto de 2022) de acuerdo con los criterios establecidos por el Protocolo de Monitoreo de Recursos Hídricos Superficial de la Autoridad Nacional del Agua (R.J. N° 010-2016-ANA).</td><td rowspan="3"><u>Instrumento de muestro de agua</u>
1. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (R.J. N° 010-2016-ANA).

<u>Instrumento de evaluación de la calidad del agua</u>
1. Estándar de calidad ambiental del agua (D.S. N° 004-2017-MINAM)
2. Índice de contaminación por metales pesados (HPI).

<u>Instrumento de evaluación de riesgos para la salud humana</u>
1. Risk Assessment Guidance for Superfound (RAGS), Volume I: Human Health Evaluation Manual de la US EPA.
2. Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el medio ambiente (ERSA) en sitios contaminados (R.M. N° 034-2015-MINAM).</td></tr>
<tr><td>¿Existe riesgo para la salud humana debido a la exposición de agua superficial con metales en la cuenca del río Negro, Áncash?</td><td>1. Existe riesgo para la salud humana debido a la exposición por metales en agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash.</td><td>Concentración de metales
Indicador:
● Cantidad de microgramos de metal en un litro de agua superficial.</td><td>Evaluar los índices de riesgo para la salud humana por la contaminación de metales en aguas superficiales de la subcuenca del río Negro, Áncash.</td></tr>
<tr><td>Problemas Específicos</td><td>Hipótesis Específicas</td><td>Variable independiente</td><td>Objetivos Específicos</td></tr>
<tr><td>1. ¿Cuál es la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash?
2. ¿El índice de contaminación por metales pesados en el agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash es baja, intermedia o alta?
3. ¿La contaminación por metales en agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash son originados por fuente natural o antropogénica?
4. ¿Existirá riesgo para salud humana debido a la exposición a metales en el agua superficial de la subcuenca del río Negro?
5. ¿Cuál es la distribución geoespacial del índice de contaminación por metales pesados e índice del riesgo para la salud humana?</td><td>1. El agua superficial de la subcuenca del río Negro se encuentra contaminada con metales, sobrepasando los estándares de calidad ambiental del agua.
2. El índice de contaminación por metales pesados en la subcuenca del río Negro tiene contaminación alta.
3. Las altas concentraciones de metales en agua superficial de la subcuenca del río Negro es originada por el discurrimiento de drenajes ácido de roca producto de la lixiviación natural de rocas con sulfuros en la cabecera de cuenca.
4. Las aguas superficiales contaminadas por metales de la subcuenca del río Negro representa un alto riesgo para la salud humana.
5. La distribución geoespacial del índice de contaminación por metales pesados y el riesgo para la salud humana es mayor en las cabeceras de cuenca y disminuye aguas abajo producto de la dilución.</td><td>Contaminación ambiental del agua y el riesgo para la salud humana
Indicadores:
● Estándares de calidad para el agua: ECA.1.A2, ECA.4.E1 y ECA.4.E2 (D.S. N° 004-2017-MINAM)
● Índice de contaminación por metales pesados (HPI)
● Índice de riesgo carcinogénico
● Índice de riesgo no carcinogénico</td><td>1. Determinar la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash.
2. Calcular el índice de contaminación por metales pesados del agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash.
3. Identificar las fuentes naturales y/o antropogénicas de metales que contaminan el agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash.
4. Determinar el índice de riesgo para la salud humana por la exposición a metales en agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash.
5. Establecer la distribución geoespacial del índice de contaminación por metales pesados e índice de riesgo para la salud.</td></tr>
</table>

ANEXO B: Registro de identificación del punto de muestreo.

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREOS					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua					
Clasificación del cuerpo de agua					
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero					
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo					
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción					
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad					
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad					
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo					
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno					
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora					
UBICACIÓN					
Distrito		Provincia		Departamento	
Olleros		Huaraz		Áncash	
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)		Sistema de coordenadas			Proyección UTM
					Geográficas
Norte/Latitud		Zona		(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud		Altitud		(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)			Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)		
Fecha:					

Fuente: Adaptado de Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA

ANEXO C: Registro de datos de parámetros *in situ.*

REGISTRO DE DATOS DE CAMPO													
Punto de Monitoreo	Descripción origen/ubicación	Distrito/Provincia/Departamento	Coordenadas		Altura	Fecha	Hora	pH	Otros parámetros:				
									OD	CE	TDS	Salinidad	T
			Este	Norte	msnm				mg/L	µS/cm	ppm	PSU	°C

Fuente: Adaptado de Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA

ANEXO D: Etiqueta de muestra de agua.

ETIQUETA PARA MUESTRA DE AGUA	
Solicitante/cliente:	
Nombre de laboratorio:	
Código de punto de monitoreo:	
Tipo de cuerpo de agua:	
Fecha de muestreo	
Hora de muestreo:	
Muestreado por:	
Parámetro requerido	
Preservada (SI/NO)	
Tipo de reactivo	

Fuente: Adaptado de Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA

ANEXO E: Cadena de custodia.

| CADENA DE CUSTODIA | | |

ANEXO F: Preservación de muestra de agua

PRESERVACIÓN DE MUESTRA DE AGUA			
Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
QUÍMICO - FÍSICOS			
pH	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente *in situ*	Inmediatamente
Oxígeno disuelto	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente *in situ*	Inmediatamente
Conductividad eléctrica	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente *in situ*	Inmediatamente
Temperatura	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente *in situ*	Inmediatamente
Turbidez	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente *in situ*	Inmediatamente
Fluoruro	Plástico, pero sin PTFE	Conservadas a 5 °C ± 3 °C	1 mes
Cloruro	Plástico o vidrio	Conservadas a 5 °C ± 3 °C	1 mes
Sulfatos	Plástico o vidrio	Conservadas a 5 °C ± 3 °C	1 mes
Carbonatos	Plástico o vidrio	Conservadas a 5 °C ± 3 °C	14 días
Bicarbonatos	Plástico o vidrio	Conservadas a 5 °C ± 3 °C	14 días
NUTRIENTES			
Nitratos	Plástico o vidrio	Filtrar *in situ*	4 días
Nitritos	Plástico o vidrio	Filtrar *in situ*	4 días
METALES Y METALOIDES			
Corrida de metales totales	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 – 2 con HNO_3	1 mes

Dónde: (FEP) perfluoro (etileno/propileno), (PE) polietileno, (PE-HD) polietileno de alta densidad, (PET) polietileno terftalato, (PFA) perfluoroalcoxi -polimero, (Plástico) el tipo específico de plástico no es relevante, , (PTFE) politetrafluorotileno, (PVC) policloruro de vinilo, (Vidrio) vidrio al borosilicato con tapa de rosca, revestida con PTFE y (PE-HD o PTFE/PFAO FEP) para concentraciones normales: PE-HD o PTFE/para concentraciones bajas: PFA O FEP

Notas: *"Filtrar in situ"* indica que la muestra de agua debe ser filtrada en campo usando un tamaño de poro de filtro de 0,40 µm a 0,45 µm.

Fuente: Adaptado de Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA

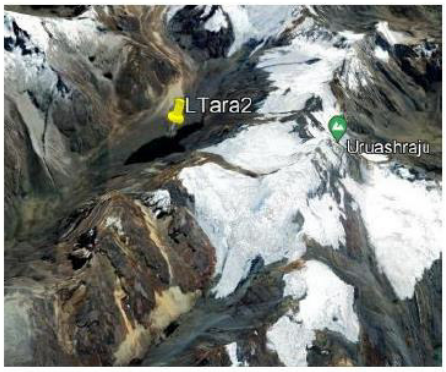
ANEXO G: Criterios de aceptación de muestras de agua del INGEMMET.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA DEL INGEMMET						
N°	Parámetro análisis	Metodología análisis	Analitos	Volumen mínimo de muestra (mL)	Técnica de preservación	Tiempo máximo de almacenamiento recomendado
1	Alcalinidad total	Volumétrico. Tritrimetric, pH 4.5, SM 2320-B	Alcalinidad de carbonato / bicarbonato	250	Conservar ≤ 6°C	14 días
2	Aniones	Cromatografía iónicas EPA Método 300.1/ Determination of inorganic anions by ion chromatografy	Nitrito, Nitrato		Conservar ≤ 6°C	48 horas
			Fluoruro, cloruro, sulfato, bromuro			28 días
3	Metales Totales ICP-MS/ICP-OES	Digestión EPA Método 200.7	Na, Mg, K, Ca, Sr, Li, SiO_2, Al, As, B, Ba, Ce, Cr, Cu, Fe, Mn, Ti, Zn, S.	250	Adición de HNO_3 (1: 1) hasta pH<2	6 meses
		Digestión EPA Método 200.8	Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Th, Tl, U, V, Zn, Sr, Li, B, Bi, Ce, La, Sn, Ti, Y, W			
4	Metales Disueltos ICP-MS/ICP-OES	Digestión EPA Método 200.7	Na, Mg, K, Ca, Sr, Li, SiO_2, Al, As, B, Ba, Ce, Cr, Cu, Fe, Mn, Ti, Zn, S	250	Filtrado con membrana 0.45 µm y adición de HNO_3 (1: 1) hasta pH<2	6 meses
		Digestión EPA Método 200.8	Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Th, Tl, U, V, Zn, Sr, Li, B, Bi, Ce, La, Sn, Ti, Y, W			
5	Mercurio (Hg)	Metales disueltos	Hg disuelto	250	Filtrado con membrana 0.45 µm y adición de HNO_3 (1: 1) hasta pH<2	28 días
		Metales totales	Hg total	250	Adición de HNO_3 (1: 1) hasta pH<2	

Fuente: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET

ANEXO H: Resultados del registro de identificación de puntos de muestreos.

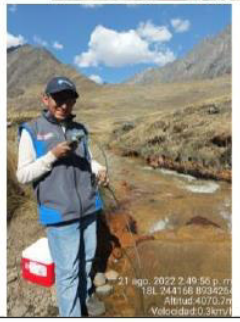
<table>
<tr><th colspan="6">REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO</th></tr>
<tr><th colspan="6">DATOS GENERALES</th></tr>
<tr><td colspan="2">Nombre del cuerpo de agua</td><td colspan="4">Agua superficial - Laguna</td></tr>
<tr><td colspan="2">Clasificación del cuerpo de agua</td><td colspan="4">ECA-Categ4. E1</td></tr>
<tr><td colspan="6">(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero</td><td colspan="4">Subcuenca del río Negro</td></tr>
<tr><th colspan="6">IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO</th></tr>
<tr><td colspan="2">Código del punto de Monitoreo</td><td colspan="4">LTara1</td></tr>
<tr><td colspan="6">(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Descripción</td><td colspan="4">La laguna Tarahua se ubica en la cabecera de la quebrada Rurec, rodeada de dos nevados (Rurec y Uruashraju), quienes le tributan agua por procesos de derretimiento; asimismo, se ubica dentro del Parque Nacional de Huascarán.</td></tr>
<tr><td colspan="6">(Origen/ubicación)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Accesibilidad</td><td colspan="4">La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Existe acceso por carretera, trocha, hasta la portada de ingreso (aprox. 30 min), posteriormente se realiza caminata por el sendero lateral por la quebrada Rurec (aprox. 5 horas).</td></tr>
<tr><td colspan="6">(Describir detalladamente la vía de acceso)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Representatividad</td><td colspan="4">Es la naciente del recurso hídrico que tributa a la laguna Tarahua por el derretimiento de los nevados (Rurec y Uruashraju).</td></tr>
<tr><td colspan="6">(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Finalidad del monitoreo</td><td colspan="4">Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.</td></tr>
<tr><td colspan="6">(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Reconocimiento del entorno</td><td colspan="4">El área del punto de muestreo es pedregosa, el agua es turbia, tiene una coloración marrón. Alrededores se observa cobertura vegetal característica de la zona (Ichu, chocho silvestre); asimismo, algunas rocas se encuentran con musgo seco.</td></tr>
<tr><td colspan="6">(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Fecha y hora</td><td colspan="4">23 de agosto de 2022 a las 09:36</td></tr>
<tr><th colspan="6">UBICACIÓN</th></tr>
<tr><td colspan="2">Distrito</td><td colspan="2">Provincia</td><td colspan="2">Departamento</td></tr>
<tr><td colspan="2">Olleros</td><td colspan="2">Huaraz</td><td colspan="2">Áncash</td></tr>
<tr><td>Localidad</td><td colspan="5">Distrito de Olleros</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Coordenadas (WGS84)</td><td colspan="2" rowspan="2">Sistema de coordenadas</td><td>X</td><td>Proyección UTM</td></tr>
<tr><td></td><td>Geográficas</td></tr>
<tr><td>Norte/Latitud</td><td>8942131</td><td>Zona</td><td>18</td><td colspan="2">(17, 18 o 19; para UTM)</td></tr>
<tr><td>Este/Longitud</td><td>245243</td><td>Altitud</td><td>4509</td><td colspan="2">(metros sobre el nivel del mar)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)</td><td colspan="3">Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)</td></tr>
<tr><td colspan="3"> 
</td><td colspan="3"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="6">Fecha: 29 de agosto de 2022</td></tr>
</table>

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Laguna				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4. E1				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**LTara2**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La laguna Tarahua se ubica en la cabecera de la quebrada Rurec, rodeada de dos nevados (Rurec y Uruashraju), quienes le tributan agua por procesos de derretimiento; asimismo, se ubica dentro del Parque Nacional de Huascarán.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha, hasta la portada (aprox. 30 min), posteriormente se realiza caminata por el sendero lateral por la quebrada Rurec (aprox. 5 horas).				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es la naciente del recurso hídrico que tributa a la laguna Tarahua por el derretimiento de los nevados (Rurec y Uruashraju).				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El área de punto de muestreo es pedregosa, el agua tiene una coloración marrón claro. Alrededor se observa baja cobertura vegetal, predominantemente ichu y chocho silvestre. Asimismo, se observa sedimento color rojo ladrillo.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo)					
Fecha y hora	23 de agosto de 2022 a las 10:03				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia		Departamento		
Olleros	Huaraz		Áncash		
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM	
				Geográficas	
Norte/Latitud	8941875	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	244828	Altitud	4493	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			
					
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Laguna				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4. E1				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**LTara3**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La laguna Tarahua se ubica en la cabecera de la quebrada Rurec, rodeada de dos nevados (Rurec y Uruashraju), quienes le tributan agua por procesos de derretimiento; asimismo, se ubica dentro del Parque Nacional de Huascarán.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha, hasta la portada (aprox. 30 min), posteriormente se realiza caminata por el sendero lateral por la quebrada Rurec (aprox. 5 horas).				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es el desembalse de la laguna Tarahua a la quebrada Rurec.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El área del punto de muestreo es fangosa , el agua es cristalina y cuenta con sedimento rojo ladrillo en todo el borde de la laguna. Alrededor se observa baja cobertura vegetal, predominantemente ichu, chocho silvestre, cóndor cebolla, taya. La laguna tiene forma de flecha alargada. Desde este punto, se observa otros laterales que tributan a la laguna; sin embargo, no cuentan con un caudal significativo para realizar el muestreo.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	23 de agosto de 2022 a las 10:42				
UBICACIÓN					
Distrito	Olleros	Provincia	Huaraz	Departamento	Áncash
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)		Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM
					Geográficas
Norte/Latitud	8941296	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	244229	Altitud	4493	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			
		 			
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4. E2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QArar**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada Araranca se ubica en el noreste del glaciar Yanamarey. La cobertura glaciar de la zona en proceso de derretimiento es quien tributa agua por procesos de derretimiento; asimismo, se ubica dentro del Parque Nacional de Huascarán.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha, hasta el puesto de control acceso de SERNANP, posteriormente se realiza una caminata por el sendero lateral de la quebrada Araranca (aprox. 45 min). La distancia entre el puesto de control de acceso de SERNANP al punto de muestreo es de aprox. 1 Km.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para la quebrada Uquian.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina, se observa sedimento color rojo ladrillo, rocas irregulares. Se observa cobertura vegetal predominantemente altoandina (queñuales, ichu y cóndor cebolla). Asimismo, alrededores se avista ganado vacuno en gran cantidad (12 a 15).				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	21 de agosto de 2022 a las 10:55				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia		Departamento		
Olleros	Huaraz		Áncash		
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM	
				Geográficas	
Norte/Latitud 89324156	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)		
Este/Longitud 244656	Altitud	4071	(metros sobre el nivel del mar)		
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)	Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)				
	 				
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4. E2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QOtut**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada Otuto se ubica al sur del glaciar Tuctopunta. La cobertura glaciar de la zona es quien tributa agua por procesos de derretimiento y la laguna Huansan; asimismo, se ubica dentro del Parque Nacional de Huascarán.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha, hasta el puesto de control acceso de SERNANP, posteriormente se realiza una caminata por el sendero lateral de la quebrada Otuto (aprox. 60 min). La distancia entre el puesto de control de acceso de SERNANP al punto de muestreo es de aprox. 2.5 Km.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para la quebrada Uquian.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina, se observa sedimento color rojo ladrillo, rocas irregulares. Se observa cobertura vegetal predominantemente altoandina (queñuales, ichu y cóndor cebolla). Asimismo, alrededores se avista ganado ovino (aproximadamente entre 60 a 70) y ganado vacuno (aproximadamente entre 10 a 15). Las actividades realizadas en la zona son pastoreo de ganado; el ganado toma el agua superficial y se alimenta de la cobertura vegetal de la zona.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	21 de agosto de 2022 a las 12:00				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia		Departamento		
Olleros	Huaraz		Áncash		
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM	
				Geográficas	
Norte/Latitud	8933087	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	244414	Altitud	4099	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			
		  			
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4. E2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QPuma**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada Pumahuaganga se ubica al sur de los glaciares Tuctopunta y Pumahuacanca. La cobertura glaciar de la zona es quien tributa agua por procesos de derretimiento; asimismo, la quebrada se ubicada dentro del Área del Parque Nacional de Huascarán.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha, hasta el puesto de control de acceso del SERNANP, posteriormente se realiza una caminata por el sendero lateral de la quebrada Otuto y sendero lateral de la quebrada Pumahuaganga (aprox. 60 min). La distancia entre el puesto de control de acceso de SERNANP al punto de muestreo es de aprox. 3.0 Km.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para la quebrada Otuto.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es marrón, turbia con algunas trazas de sedimento, se observa sedimento color rojo ladrillo, rocas irregulares. Se observa cobertura vegetal predominantemente altoandina (Ichu y cóndor cebolla). Asimismo, alrededores se avista ganado ovino (aproximadamente entre 20 a 30) y ganado vacuno (aproximadamente entre 5 a 5). Las actividades realizadas en la zona son pastoreo de ganado; el ganado toma el agua superficial y se alimenta de la cobertura vegetal de la zona.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	21 de agosto de 2022 a las 14:35				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia			Departamento	
Olleros	Huaraz			Áncash	
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM	
				Geográficas	
Norte/Latitud 8934256	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)		
Este/Longitud 244170	Altitud	4068	(metros sobre el nivel del mar)		
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)	Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)				
	  				
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ1. A2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QPuyh**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada Puyhuan se ubica aproximadamente 3.5 Km del centro poblado de Olleros.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha, el puente Puyhuan. La distancia entre el centro poblado de Olleros y el punto de muestreo es de 3.5 Km. Se realizó el muestreo a 20 metros aguas arriba del puente Puyhuan.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para el río Olleros.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina, la zona de muestreo es muy rocosa. Asimismo, se observa áreas de cultivo y bosques de eucalipto.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	25 de agosto de 2022 a las 18:00				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia		Departamento		
Olleros	Huaraz		Áncash		
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM	
				Geográficas	
Norte/Latitud	8934256	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	244170	Altitud	4068	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			
		 			
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4. E2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QQuil**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada Quilloc se ubica al sur de la laguna Collotacocha. La cobertura glaciar del nevado Pucaraju es quien tributa agua por procesos de derretimiento, asimismo la quebrada se encuentra ubicada dentro del área del Parque Nacional de Huascarán.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha, hasta el puesto de control de acceso del SERNANP, posteriormente se realiza una caminata por el sendero lateral de la quebrada Quilloc (aprox. 20 min). La distancia entre el puesto de control de acceso de SERNANP al punto de muestreo es de aprox. 0.5 Km.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para el río Negro.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina, la zona de muestreo es rocosa. Alrededores se avista especies botánica como los queñuales, condorcebolla, chochosilvestre , así como especies arbustivas.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	21 de agosto de 2022 a las 09:15				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia	Departamento			
Olleros	Huaraz	Áncash			
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas	X	Proyección UTM		
			Geográficas		
Norte/Latitud 8932247	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)		
Este/Longitud 243379	Altitud	4132	(metros sobre el nivel del mar)		
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)	Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)				
	 				
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4. E2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QRure1**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada Rurec, se ubica al sur del nevado Rurec. La cobertura glaciar del nevado Rurec y Cashan son los aportantes de agua por proceso de derretimiento; asimismo la quebrada se encuentra ubicada dentro del área del Parque Nacional de Huascarán.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Existe un acceso por carretera, inicialmente por la quebrada Puyhuan hasta llegar a la portada de ingreso al Parque Nacional de Huascarán, posteriormente se realiza una caminata por el sendero de aproximadamente 10.5 Km.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para el río Negro				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina, la zona de muestreo es rocosa. Alrededores se avista especies botánica como los queñuales, condorcebolla, chochosilvestre , así como especies arbustivas.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	23 de agosto de 2022 a las 11:35				
UBICACIÓN					
Distrito	Olleros	Provincia	Huaraz	Departamento	Áncash
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)		Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM
					Geográficas
Norte/Latitud	8941354	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	243651	Altitud	4474	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			









Fecha: 29 de agosto de 2022

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ1.A2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QRure2**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada Rurec, se ubica al sur del nevado Rurec. La cobertura glaciar del nevado Rurec y Cashan son los aportantes de agua por proceso de derretimiento; asimismo la quebrada se encuentra ubicada dentro del área del Parque Nacional de Huascarán.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Existe un acceso por carretera, inicialmente por la quebrada Puyhuan hasta llegar a un proyecto de inversión denominado Ejecución de obra construcción y mejoramiento del sistema de riego Rurek, distrito de Olleros – Huaraz – Áncash con código SNIP 34637. Posteriormente se realiza una caminata por el sendero por 30 min (1 Km aprox.).				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para el río Negro				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina, la zona de muestreo tiene mucha cobertura vegetal. Alrededores se avista especies botánica como el ichu y condorcebolla, así como bofedales. Aguas abajo del punto de muestreo se está ejecutando un proyecto de inversión con código SNIP 34637, en el que se observa remoción de tierra, construcción de infraestructura hidráulica.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	23 de agosto de 2022 a las 15:05				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia		Departamento		
Olleros	Huaraz		Áncash		
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM	
				Geográficas	
Norte/Latitud 8933083	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)		
Este/Longitud 237859	Altitud	3914	(metros sobre el nivel del mar)		
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)	Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)				
	  				
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	
DATOS GENERALES	
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ1.A2
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)	
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO	
Código del punto de Monitoreo	**QRure3**
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)	
Descripción	La quebrada Rurec, se ubica al sur del nevado Rurec. La cobertura glaciar del nevado Rurec y Cashan son los aportantes de agua por proceso de derretimiento.
(Origen/ubicación)	
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Existe un acceso por carretera, inicialmente por la quebrada Puyhuan, 0.5 kilómetros antes de proyecto de inversión denominado Ejecución de obra construcción y mejoramiento del sistema de riego Rurek, distrito de Olleros – Huaraz – Áncash con código SNIP 34637.
(Describir detalladamente la vía de acceso)	
Representatividad	Es un tributario para el río Negro
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)	
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)	
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina se observa partículas en suspensión y el sedimento es color rojo ladrillo. Alrededores se avista especies botánica como el ichu y condorcebolla, así como bofedales. Aguas arriba del punto de muestreo se está ejecutando un proyecto de inversión con código SNIP 34637, en el que se observa remoción de tierra, cobertura vegetal y construcción de infraestructura hidráulica.
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo	
Fecha y hora	23 de agosto de 2022 a las 15:40

UBICACIÓN					
Distrito		Provincia		Departamento	
Olleros		Huaraz		Áncash	
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)		Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM
					Geográficas
Norte/Latitud	8932733	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	237103	Altitud	3911	(metros sobre el nivel del mar)	

Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)	Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)
	  

Fecha: 29 de agosto de 2022

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4. E2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QSNom1**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada sin nombre 1 (QSNom1), se ubica al sur del nevado Shaqsha y laguna Huamash. La cobertura glaciar del nevado Shaqsha aporta agua por proceso de derretimiento. La laguna Huamash tributa con recurso hídrico a la QSNom1.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Existe un acceso por carretera, inicialmente por la quebrada Puyhuan hasta llegar al proyecto de inversión denominado Ejecución de obra construcción y mejoramiento del sistema de riego Rurek, distrito de Olleros – Huaraz – Áncash con código SNIP 34637, posteriormente se realiza una caminata de aproximadamente 1.5 Km por el sendero hasta llegar a la zona lateral de la quebrada Rurec.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para la quebrada Rurec.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina con poco caudal. La botánica de la zona principalmente es ichu, queñuales y especies arbustivas características de la zona.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	23 de agosto de 2022 a las 13:45				
UBICACIÓN					
Distrito		Provincia		Departamento	
Olleros		Huaraz		Áncash	
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)		Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM
					Geográficas
Norte/Latitud	8934861	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	240121	Altitud	4042	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			
		 			
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ1.A2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QSNom2**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada sin nombre 2, se ubica en el lado lateral de la quebrada Rurec. La laguna aguas arriba (Registro en Google Earth Pro) aporta agua superficial a la quebrada.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Existe un acceso por carretera, inicialmente por la quebrada Puyhuan hasta llegar al proyecto de inversión denominado Ejecución de obra construcción y mejoramiento del sistema de riego Rurek, distrito de Olleros – Huaraz – Áncash con código SNIP 34637, posteriormente se realiza una caminata de aproximadamente 1 Km por el sendero hasta llegar a la zona lateral de la quebrada Rurec.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para la quebrada Rurec.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina con poco caudal. La botánica de la zona principalmente es ichu, queñuales y especies arbustivas características de la zona.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	23 de agosto de 2022 a las 14:40				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia	Departamento			
Olleros	Huaraz	Áncash			
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas	X	Proyección UTM		
			Geográficas		
Norte/Latitud 8933822	Zona 18	(17, 18 o 19; para UTM)			
Este/Longitud 238232	Altitud 3964	(metros sobre el nivel del mar)			
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)	Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)				
					
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4.E2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QSNom3**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada sin nombre 3, se ubica al sur de la laguna Huansan. El nevado de Uruashraju tributa agua superficial a la laguna Huansan por procesos de derretimiento del glaciar. La laguna Huansan es la aportante del recurso hídrico a la quebrada sin nombre 3 (QSNom3).				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha, hasta el puesto de control de acceso del SERNANP, posteriormente se realiza una caminata por el sendero lateral de la quebrada Otuto en dirección a la laguna Huansan. La distancia entre el puesto de control de acceso de SERNANP al punto de muestreo es de 5.5 Km.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para la quebrada Otuto.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina con sedimento color rojo ladrillo, la zona de muestreo es rocosa. Alrededores se avista especies botánicas como los queñuales, condorcebolla, chochosilvestre e ichu, así como especies arbustivas.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	20 de agosto de 2022 a las 13:35				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia			Departamento	
Olleros	Huaraz			Áncash	
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas			X	Proyección UTM
					Geográficas
Norte/Latitud	8936268	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	247597	Altitud	4488	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			
					
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4.E2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QSNom4**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada sin nombre 4, se ubica al sur de la laguna Huansan. Las lagunas aguas arriba (Registro en Google Earth Pro) aporta agua superficial a la quebrada.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha, hasta el puesto de control de acceso del SERNANP, posteriormente se realiza una caminata por el sendero lateral de la quebrada Otuto en dirección a la laguna Huansan. La distancia entre el puesto de control de acceso de SERNANP al punto de muestreo es de 5.0 Km.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para la quebrada Otuto.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina con sedimento color rojo ladrillo, la zona de muestreo es rocosa. Alrededores se avista especies botánicas como los queñuales, condorcebolla e ichu, así como especies arbustivas. Asimismo, toda la zona esta compuesta por bofedales.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	20 de agosto de 2022 a las 14:15				
UBICACIÓN					
Distrito	Olleros	Provincia	Huaraz	Departamento	Áncash
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)		Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM
					Geográficas
Norte/Latitud	8935950	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	247499	Altitud	4448	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			
		  			
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4.E2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QSNom5**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada sin nombre 5, se ubica al sur de la laguna Huansan. Se origina con la confluencia de las quebradas sin nombre 3 y 4, las cuales tienen aportantes de la laguna Huansan y lagunas sin nombre (Registro en Google Earth Pro).				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha, hasta el puesto de control de acceso del SERNANP, posteriormente se realiza una caminata por el sendero lateral de la quebrada Otuto en dirección a la laguna Huansan. La distancia entre el puesto de control de acceso de SERNANP al punto de muestreo es de 4.8 Km.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para la quebrada Otuto.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina con sedimento color rojo ladrillo, la zona de muestreo es rocosa. Alrededores se avista especies botánicas como los queñuales, condorcebolla e ichu, así como especies arbustivas. Toda la zona está compuesta por bofedales.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	20 de agosto de 2022 a las 12:20				
UBICACIÓN					
Distrito		Provincia		Departamento	
Olleros		Huaraz		Áncash	
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)		Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM
					Geográficas
Norte/Latitud	8935602	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	246729	Altitud	4380	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			
		  			
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4.E2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QSNom6**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada sin nombre 6, se ubica al sur de la laguna Huansan. Se origina con la confluencia de las quebradas sin nombre 3 y 4, las cuales tienen aportantes de la laguna Huansan y lagunas sin nombre (Registro en Google Earth Pro).				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha, hasta el puesto de control de acceso del SERNANP, posteriormente se realiza una caminata por el sendero lateral de la quebrada Otuto en dirección a la laguna Huansan. La distancia entre el puesto de control de acceso de SERNANP al punto de muestreo es de 4.0 Km.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para la quebrada Otuto.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina con sedimento color rojo ladrillo. Alrededores se avista especies botánicas como los queñuales, condorcebolla e ichu, así como especies arbustivas. Toda la zona está compuesta por bofedales.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	20 de agosto de 2022 a las 15:30				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia	Departamento			
Olleros	Huaraz	Áncash			
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas	X	Proyección UTM		
			Geográficas		
Norte/Latitud	8935309	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	246077	Altitud	4281	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			
		 			
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ4.E2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QSNom7**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada sin nombre 7 (QSNom7), se ubica durante el trayecto a la laguna Huansan, esta quebrada une la quebrada sin nombre 5 (QSNom5) con un afluente lateral, el cual tiene aportante del nevado Tuctopunta.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha, hasta el puesto de control de acceso del SERNANP, posteriormente se realiza una caminata por el sendero lateral de la quebrada Otuto en dirección a la laguna Huansan. La distancia entre el puesto de control de acceso de SERNANP al punto de muestreo es de 4.0 Km.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para la quebrada Otuto.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina con sedimento rojo ladrillo, la zona de muestreo es rocosa con gran caudal. La botánica de la zona es ichu, condor cebolla y queñuales. Asimismo, hay presencia de bofedales.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	20 de agosto de 2022 a las 16:30				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia		Departamento		
Olleros	Huaraz		Áncash		
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM	
				Geográficas	
Norte/Latitud 8935344	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)		
Este/Longitud 245736	Altitud	4264	(metros sobre el nivel del mar)		
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)	Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)				
	 				
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ1. A2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**QUqui**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	La quebrada Uquian se ubica al norte de las lagunas Torococha y Lactacocha. Las quebradas Otuto, Quilloc y Araranca son quienes tributan a la quebrada.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha; hasta el puente de rocas, 2.5 Km antes del puesto de control de SERNANP, posteriormente, se sigue en dirección a riachuelo (dirección al norte), hasta llegar al punto de muestreo.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para el río Negro.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina con sedimento rojo ladrillo, la zona de muestreo es rocosa con gran caudal. La botánica de la zona es ichu y condor cebolla. Asimismo, hay presencia de bofedales.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	22 de agosto de 2022 a las 09:10				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia		Departamento		
Olleros	Huaraz		Áncash		
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM	
				Geográficas	
Norte/Latitud	8931815	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	240266	Altitud	3989	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			
		 			
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ1. A2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**RNegr**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	El río Negro se ubica al sureste del centro poblado de Olleros. Los tributarios del río Negro son la quebrada Rurec y Uquian.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. Hay acceso por carretera, trocha. El punto de muestreo se ubica a 3 Km del centro poblado de Olleros.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para el río Olleros.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina con sedimento rojo ladrillo, con olor a huevos podridos y gran caudal. Alrededores se observa ganado vacuno y zonas de cultivo. La botánica de la botánica de la zona es eucaliptos, ichu y especies arbustivas. Asimismo, alrededores se observe viviendas.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	22 de agosto de 2022 a las 10:50				
UBICACIÓN					
Distrito	Provincia		Departamento		
Olleros	Huaraz		Áncash		
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)	Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM	
				Geográficas	
Norte/Latitud	8929794	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	233102	Altitud	3655	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			
		  			
Fecha: 29 de agosto de 2022					

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO					
DATOS GENERALES					
Nombre del cuerpo de agua	Agua superficial - Quebrada				
Clasificación del cuerpo de agua	ECA-Categ1. A2				
(Categorizado de acuerdo con R.J. 056-2018 y modificaciones posteriores)					
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero	Subcuenca del río Negro				
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO					
Código del punto de Monitoreo	**ROlle**				
(Según lo indicado en ítem 6.4.5 del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales)					
Descripción	El río Olleros se ubica al sur del centro poblado de Olleros. Los tributarios del río Olleros son el río Negro y quebrada Puyhuan.				
(Origen/ubicación)					
Accesibilidad	La vía de acceso es por el distrito de Olleros, Ancash. El punto de muestreo se ubica a 0.5 Km del centro poblado de Olleros, específicamente a 50 metros del puente que une el centro poblado de Olleros y la Plaza de Canrey Chico.				
(Describir detalladamente la vía de acceso)					
Representatividad	Es un tributario para el río Olleros.				
(Describir el tramo de río quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)					
Finalidad del monitoreo	Evaluación de la calidad del agua superficial y evaluación del riesgo para la salud.				
(Describir la finalidad del del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminantes, etc.)					
Reconocimiento del entorno	El agua es cristalina con sedimento rojo ladrillo, con olor a huevos podridos y gran caudal. Al costado se ubica el centro poblado de Olleros. Asimismo, se observó residuos sólidos, principalmente botellas y bolsas de plástico. También, se observó zonas de cultivo y ganado. La botánica de la zona son eucaliptos y especies arbustivas.				
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo					
Fecha y hora	25 de agosto de 2022 a las 18:20				
UBICACIÓN					
Distrito		Provincia		Departamento	
Olleros		Huaraz		Áncash	
Localidad	Distrito de Olleros				
Coordenadas (WGS84)		Sistema de coordenadas		X	Proyección UTM
					Geográficas
Norte/Latitud	8930436	Zona	18	(17, 18 o 19; para UTM)	
Este/Longitud	229715	Altitud	3423	(metros sobre el nivel del mar)	
Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)		Fotografía (Tomada a un mínimo de 20 mts de distancia del punto de monitoreo)			
					
Fecha: 29 de agosto de 2022					

ANEXO J: Resultados de parámetros *in situ.*

REGISTRO DE PARAMETROS *IN SITU*														
Punto de Muestreo	Descripción origen/ubicación	Distrito/Provincia/ Departamento	Coordenadas		Altura	Fecha	Hora	pH	Otros parámetros:				
									OD	CE	TDS	Salinidad	T
			Este (m)	Norte (m)	m snm				mg/L	µS/cm	ppm	PSU	°C
LTara1	La laguna Tararhua se ubica en la cabecera de la quebrada Rurec, rodeada de dos nevados (Rurec y Uruashraju), quienes le tributan agua por procesos de derretimiento; asimismo, se ubica dentro del Parque Nacional de Huascarán.	Olleros / Huaraz / Áncash	245243	8942131	4509	23/08/2022	09:36	3.17	3.28	1409	705	0.7	1.3
			245243	8942131	4509			3.21	8.43	1410	705	0.7	1.24
			245243	8942131	4509			3.22	8.25	1413	707	0.7	1.25
			245243	8942131	4509			3.22	8.09	1411	706	0.7	1.27
			245243	8942131	4509			3.24	8.04	1411	705	0.7	1.28
LTara2	La laguna Tararhua se ubica en la cabecera de la quebrada Rurec, rodeada de dos nevados (Rurec y Uruashraju), quienes le tributan agua por procesos de derretimiento; asimismo, se ubica dentro del Parque Nacional de Huascarán.	Olleros / Huaraz / Áncash	244828	8941875	4493	23/08/2022	10:03	3.64	7.39	484	242	0.23	4.39
			244828	8941875	4493			3.66	7.68	479	240	0.23	4.34
			244828	8941875	4493			3.62	7.53	483	242	0.23	4.35
			244828	8941875	4493			3.64	7.43	476	238	0.23	4.37
			244828	8941875	4493			3.65	7.43	479	240	0.23	4.37
LTara3	La laguna Tararhua se ubica en la cabecera de la quebrada Rurec, rodeada de dos nevados (Rurec y Uruashraju), quienes le tributan agua por procesos de derretimiento; asimismo, se ubica dentro del Parque Nacional de Huascarán.	Olleros / Huaraz / Áncash	244229	8941296	4493	23/08/2022	10:42	2.79	6.38	1097	549	0.55	8.85
			244229	8941296	4493			2.83	6.62	1093	547	0.55	8.65
			244229	8941296	4493			2.74	6.5	1093	546	0.55	8.74
			244229	8941296	4493			2.77	6.5	1089	545	0.54	8.53
			244229	8941296	4493			2.73	6.45	1097	578	0.55	8.77
QArar	La quebrada Araranca se ubica en el noreste del glaciar Yanamarey. La cobertura glaciar de la zona en proceso de derretimiento es quien tributa agua por procesos de derretimiento; asimismo, se ubica dentro del Parque Nacional de Huascarán.	Olleros / Huaraz / Áncash	244414	8933087	4099	21/08/2022	10:55	6.56	6.9	82	41	0.04	7.04
			244414	8933087	4099			6.61	6.98	83	42	0.04	7.21
			244414	8933087	4099			6.57	7.08	83	42	0.04	7.28
			244414	8933087	4099			6.51	7.03	83	41	0.04	7.35
			244414	8933087	4099			6.52	7.06	83	41	0.04	7.43
QOtut	La quebrada Otuto se ubica al sur del glaciar Tuctopunta. La cobertura glaciar de la zona es quien tributa agua por procesos de derretimiento y la laguna Huansan; asimismo, se ubica dentro del Parque Nacional de Huascarán.	Olleros / Huaraz / Áncash	244656	8934156	4071	21/08/2022	12:00	2.69	7.46	1173	586	0.59	7.02
			244656	8934156	4071			2.73	7.51	1176	588	0.59	7.04
			244656	8934156	4071			2.75	7.44	1174	585	0.59	7.05
			244656	8934156	4071			2.76	7.38	1177	588	0.59	7.06
			244656	8934156	4071			2.61	7.3	1176	588	0.59	7.1
QPuma	La quebrada Pumahuaganga se ubica al sur de los glaciares Tuctopunta y Pumahuacanca. La cobertura glaciar de la zona es quien tributa agua por procesos de derretimiento; asimismo, la quebrada se ubicada dentro del Área del Parque Nacional de Huascarán.	Olleros / Huaraz / Áncash	244170	8934256	4068	21/08/2022	14:35	2.99	6.43	1844	922	0.94	13.02
			244170	8934256	4068			3	6.48	1848	924	0.95	13.08
			244170	8934256	4068			2.99	6.42	1847	924	0.95	13.1
			244170	8934256	4068			3	6.42	1850	926	0.95	13.13
			244170	8934256	4068			2.97	6.44	1854	927	0.95	13.13
QPuyh	La quebrada Puyhuan se ubica aproximadamente 3.5 Km del centro poblado de Olleros.	Olleros / Huaraz / Áncash	232379	8931485	3662	25/08/2022	18:00	6.95	6.42	105	53	0.05	14.41
			232379	8931485	3662			6.85	6.48	106	53	0.05	14.1
			232379	8931485	3662			6.87	6.47	106	33	0.05	14.42
			232379	8931485	3662			6.94	6.44	105	53	0.05	14.41
			232379	8931485	3662			6.95	6.42	105	53	0.05	14.41

REGISTRO DE PARAMETROS *IN SITU*

Punto de Muestreo	Descripción origen/ubicación	Distrito/Provincia/ Departamento	Coordenadas		Altura	Fecha	Hora	pH	Otros parámetros:				
			Este (m)	Norte (m)	m snm				OD mg/L	CE µS/cm	TDS ppm	Salinidad PSU	T °C
QQuil	La quebrada Quilloc se ubica al sur de la laguna Collotacocha. La cobertura glaciar del nevado Pucaraju es quien tributa agua por procesos de derretimiento, asimismo la quebrada se encuentra ubicada dentro del área del Parque Nacional de Huascarán.	Olleros / Huaraz / Áncash	243379	8932247	4132	21/08/2022	09:15	5.9	8.09	71	35	0.03	4.03
			243379	8932247	4132			6.08	7.85	70	35	0.03	4.06
			243379	8932247	4132			6.5	7.94	69	34	0.03	4.07
			243379	8932247	4132			6.24	7.55	69	34	0.03	4.08
			243379	8932247	4132			6.24	7.49	68	34	0.03	4.09
QRure1	La quebrada Rurec, se ubica al sur del nevado Rurec. La cobertura glaciar del nevado Rurec y Cashan son los aportantes de agua por proceso de derretimiento; asimismo la quebrada se encuentra ubicada dentro del área del Parque Nacional de Huascarán.	Olleros / Huaraz / Áncash	243651	8941354	4474	23/08/2022	11:35	6.49	6.53	84	42	0.04	8.36
			243651	8941354	4474			5.86	6.6	84	42	0.04	8.24
			243651	8941354	4474			6.07	6.45	84	42	0.04	8.31
			243651	8941354	4474			6.29	6.55	84	42	0.04	8.32
			243651	8941354	4474			6.34	6.56	84	42	0.04	8.32
QRure2	La quebrada Rurec, se ubica al sur del nevado Rurec. La cobertura glaciar del nevado Rurec y Cashan son los aportantes de agua por proceso de derretimiento; asimismo la quebrada se encuentra ubicada dentro del área del Parque Nacional de Huascarán.	Olleros / Huaraz / Áncash	237859	8933083	3914	23/08/2022	15:05	2.99	5.06	859	430	0.43	11.38
			237859	8933083	3914			2.99	5.29	860	430	0.43	11.38
			237859	8933083	3914			3.02	4.92	859	430	0.43	11.4
			237859	8933083	3914			3	5.1	860	430	0.43	11.39
			237859	8933083	3914			2.99	4.49	859	430	0.43	11.39
QRure3	La quebrada Rurec, se ubica al sur del nevado Rurec. La cobertura glaciar del nevado Rurec y Cashan son los aportantes de agua por proceso de derretimiento; asimismo la quebrada se encuentra ubicada dentro del área del Parque Nacional de Huascarán.	Olleros / Huaraz / Áncash	237103	8932733	3911	23/08/2022	15:40	3.06	5.39	852	426	0.42	11.26
			237103	8932733	3911			3.1	5.14	851	426	0.42	11.26
			237103	8932733	3911			3.07	5.6	852	426	0.42	11.26
			237103	8932733	3911			3.07	5.42	852	426	0.42	11.26
			237103	8932733	3911			3.06	5.45	852	426	0.42	11.26
QSNom 1	La quebrada sin nombre 1 (QSNom1), se ubica al sur del nevado Shaqsha y laguna Huamash. La cobertura glaciar del nevado Shaqsha aporta agua por proceso de derretimiento. La laguna Huamash tributa con recurso hídrico a la QSNom1.	Olleros / Huaraz / Áncash	240121	8934861	4042	23/08/2022	13:45	6.7	6.09	135	68	0.06	14.16
			240121	8934861	4042			6.33	6.02	136	68	0.06	14.01
			240121	8934861	4042			6.5	6.04	136	68	0.06	14
			240121	8934861	4042			6.61	6.02	136	68	0.06	13.92
			240121	8934861	4042			6.68	6.1	136	68	0.06	14.02
QSNom 2	La quebrada sin nombre 2, se ubica en el lado lateral de la quebrada Rurec. La laguna aguas arriba (Registro en Google Earth Pro) aporta agua superficial a la quebrada.	Olleros / Huaraz / Áncash	238232	8933822	3964	23/08/2022	14:40	6.4	7.06	112	56	0.05	9.7
			238232	8933822	3964			6.4	7.06	112	56	0.05	9.7
			238232	8933822	3964			6.53	6.68	112	56	0.05	9.67
			238232	8933822	3964			6.58	6.59	111	56	0.05	9.67
			238232	8933822	3964			6.53	6.68	112	56	0.05	9.67
QSNom 3	La quebrada sin nombre 3, se ubica al sur de la laguna Huansan. El nevado de Uruashraju tributa agua superficial a la laguna Huansan por procesos de derretimiento del glaciar y la laguna Huansan es la aportante del recurso hídrico QSNom3.	Olleros / Huaraz / Áncash	247597	8936268	4488	20/08/2022	13:35	2.75	5.71	1558	779	0.79	13.34
			247597	8936268	4488			2.76	5.86	1557	779	0.79	13.2
			247597	8936268	4488			2.75	5.68	1557	779	0.79	13.21
			247597	8936268	4488			2.76	5.72	1557	779	0.79	13.24
			247597	8936268	4488			2.76	5.74	1557	778	0.79	13.26
	La quebrada sin nombre 4, se ubica al sur de la laguna Huansan. Las lagunas aguas arriba (Registro		247499	8935950	4448			6.69	5.39	73	37	0.03	13.55
			247499	8935950	4448			6.72	5.47	73	36	0.03	13.6

ANEXO K: Resultados de análisis de aniones y metales totales.

Firmado digitalmente por: VARGAS RODRIGUEZ Luis Enrique FAU 20112919377 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 11/11/2022 19:08:21-0500

Firmado digitalmente por: MOGROVEJO ROMÁN Mayra Melissa FAU 20112919377 soft
Motivo: En señal de conformidad
Fecha: 10/11/2022 21:51:43-0500

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N°LE-182

INACAL
DA - Perú

INFORME DE ENSAYO ACREDITADO

Código: M2.2-F-043 Versión: 00 Fecha de aprob.: 16/08/2022
Página: 1 de 4

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

DIRECCIÓN DE LABORATORIOS - LABORATORIO DE QUÍMICA

INFORME DE ENSAYO Nº140-2022-INGEMMET/DL-LQ

(CÓDIGO INTERNO: 2022-0326)

Dirección de Laboratorios	:	LABORATORIO DE QUÍMICA AV. CANADÁ 1470, SAN BORJA
Servicio	:	21 MUESTRAS - ALCALINIDAD TOTAL, CARBONATOS, BICARBONATOS Y ANÁLISIS DE ANIONES 21 MUESTRAS - ANÁLISIS DE METALES TOTALES - MÉTODO ICP-OES / ICP-MS 21 MUESTRAS - ANÁLISIS COMPLEMENTARIO (FISICOQUÍMICO)
N° de solicitud	:	N°006-2022-INGEMMET/DL-ATTIG
Proyecto *o constancia* [1]	:	DL-ATTIG: ASISTENCIA TÉCNICA Y TECNOLÓGICA A LA INVESTIGACIÓN EN GEOCIENCIAS
Responsable del proyecto o PPM o PMA (cliente)	:	GUILLERMO ARTURO ROJAS GUTIERREZ (USUARIO EXTERNO)
Solicitante	:	OFICIO-D000266-INAIGEM-2022 (CORRELATIVO 67822) USUARIO EXTERNO
Teléfono	:	-
Correo electrónico	:	jctorres@inaigem.gob.pe (USUARIO EXTERNO)
Descripción de la muestra según el cliente	:	AGUA NATURAL (SUPERFICIAL)
Fecha de recepción de la muestra al Laboratorio de Química	:	2022-10-05
Fecha de ensayo	:	2022-10-07 al 2022-10-28
Fecha de emisión del informe de ensayo	:	2022-11-10
Observación	:	Se adjunta: M2.2-F-032: Informe de QA/QC del Laboratorio de Química. Anexo N°1.- Reporte de incertidumbre de la medición. M2.2-F-113: Ficha de muestras observadas. (**"): Corresponde a resultados de muestras no idóneas para el ensayo, debido a que la muestra no cumple los criterios mínimos de aceptación establecidos por la Dirección de Laboratorios, descritos en la especificación técnica M2.2-ET-001 (criterios de aceptación de muestras).

Tipo de ensayo	Método de referencia *o proceso*	Tratamiento químico de muestras	Tipo de reactivos	Equipo
ALCALINIDAD, CARBONATOS Y BICARBONATOS	(*)SMEWW-APHA-AWWA-WEF PART 2320 B, 23RD ED. 2017. ALKALINITY. TITRATION METHOD.	N.A.	N.A.	EQUIPO MULTIPARÁMETRO DE PH, MARCA: THEMO SCIENTIFIC, MODELO: ORION VERSA STAR
ANIONES: Cl^-, F^- SO_4^{2-}	DETERMINATION OF INORGANIC ANIONS BY ION CHROMATOGRAPHY; EPA 300.0, REV. 2.1, 1993.	N.A.	N.A.	CROMATÓGRAFO IÓNICO, MARCA: THERMO SCIENTIFIC, MODELO: DIONEX ICS-5000
METALES TOTALES MÉTODO ICP-MS	DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN WATER AND WASTES BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA-MASS SPECTROMETRY: EPA-METHOD 200.8 REV. 5.4, 1994.	DIGESTIÓN ÁCIDA	ÁCIDOS ULTRAPURO	ICP-MS: MARCA PERKIN ELMER, MODELO 3000
METALES TOTALES MÉTODO ICP-OES	DETERMINATION OF METALS AND TRACE ELEMENTS IN WATER AND WASTES BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA-ATOMIC EMISSION SPECTROMETRY; EPA 200.7 REV.4.4, 1994.	DIGESTIÓN ÁCIDA	ÁCIDOS ULTRAPURO	ICP-OES (RADIAL): MARCA VARIAN, MODELO 735-ES
PH ANÁLISIS COMPLEMENTARIO (FISICOQUÍMICO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF PART 4500-H + B, 23RD ED. PH VALUE: ELECTROMETRIC METHOD.	N.A.	N.A.	EQUIPO MULTIPARÁMETRO DE PH, MARCA: THEMO SCIENTIFIC, MODELO: ORION VERSA STAR
CONDUCTIVIDAD ANÁLISIS COMPLEMENTARIO (FISICOQUÍMICO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF PART 2510 B, 23RD ED. 2017. CONDUCTIVITY: LABORATORY METHOD.	N.A.	N.A.	

(1): Constancia para el caso de pequeños productores mineros (PPM) o productores mineros artesanales (PMA).
Nota: 1: Los resultados presentados pertenecen al ítem ensayado tal como se recibió por parte del cliente.
Nota: 2: Este informe no se puede reproducir sin la aprobación del laboratorio excepto cuando se reproduce en su totalidad.
Nota: 3: (*) Método acreditado.

San Borja, 10 de noviembre de 2022

Documento firmado digitalmente

QUÍM. MAYRA M. MOGROVEJO ROMÁN
COP: 1044
Especialista coordinador del Laboratorio de Química
Dirección de Laboratorios
INGEMMET

Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO/IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad del laboratorio.

INFORME DE ENSAYO ACREDITADO

Código: M2.2-F-043 Versión: 00 Fecha de aprob.: 16/08/2022

INFORME DE ENSAYO Nº140-2022-INGEMMET/DL-LQ

Ensayos solicitados		Aniones [a]		Aniones [b]			Metales totales [c]							Metales totales [d]									
Código del *proceso*		M2.2.2.2-5		M2.2.2.2-1			M2.2.2.2-3							M2.2.2.2-2									
Fecha de análisis:		2022-10-07 y 2022-10-10		2022-10-10			2022-10-28							2022-10-28									
Elementos		$CO_3^{=}$	HCO_3^-	F^-	Cl^-	$SO_4^{=}$	Na	Mg	K	Ca	SiO_2	Fe	S	Sr	Li	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd
Unidades		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
No	LDM / Código	1.2 [LCM]	1.2 [LCM]	0.2	0.2	1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.01	0.3	0.0005	0.0004	0.0003	0.005	0.001	0.05	0.0005	0.0002	0.0002	0.0002
1	LTara1	<1.2	<1.2	0.8	1.8	298	2.1	20.0	<0.2	26.4	2.0	51.66	99.8	0.0741	0.0359	<0.0003	3.843	0.002	<0.05	0.0042	0.0004	<0.0002	0.0005
2	LTara2	<1.2	<1.2	<0.2	<0.2	98	2.0	6.2	0.7	31.3	4.4	6.85	40.4	0.0967	0.0110	<0.0003	1.916	0.007	<0.05	0.0084	<0.0002	<0.0002	0.0006
3	LTara3	<1.2	<1.2	0.5	0.4	170	1.8	13.4	0.2	23.3	2.9	17.54	69.4	0.0793	0.0265	<0.0003	3.761	<0.001	<0.05	0.0055	0.0005	<0.0002	0.0005
4	QArar	<1.2	10.5	<0.2	<0.2	13	1.7	1.0	<0.2	6.3	3.1	0.28	4.4	0.0287	0.0068	<0.0003	0.029	<0.001	<0.05	0.0024	<0.0002	<0.0002	<0.0002
5	QOtut	<1.2	<1.2	0.6	1.5	209	2.3	19.2	0.7	18.9	4.1	36.64	94.1	0.0634	0.0369	<0.0003	7.862	<0.001	0.06	0.0073	0.0005	<0.0002	0.0005
6	QPuma	<1.2	<1.2	0.7	0.6	494	4.8	30.4	1.1	36.2	5.8	160.85	191.4	0.1879	0.0368	<0.0003	7.973	0.001	<0.05	0.0057	0.0013	<0.0002	<0.0002
7	QPuyh	<1.2	38.4	<0.2	0.8	3	5.1	0.9	0.4	7.7	5.0	0.20	1.4	0.0478	<0.0004	<0.0003	0.049	0.002	<0.05	0.0058	<0.0002	<0.0002	<0.0002
8	QQuil	<1.2	5.5	<0.2	<0.2	12	1.6	1.1	0.2	3.7	3.9	0.17	4.7	0.0284	0.0068	<0.0003	0.042	<0.001	<0.05	0.0031	<0.0002	<0.0002	<0.0002
9	QRurec1	<1.2	22.8	<0.2	<0.2	10	1.3	0.7	1.4	8.6	2.1	0.11	4.1	0.0264	<0.0004	<0.0003	0.047	0.002	<0.05	0.0054	<0.0002	<0.0002	<0.0002
10	QRurec2	<1.2	<1.2	0.3	0.6	132	1.4	6.7	0.2	12.6	2.3	5.62	35.2	0.0422	0.0153	<0.0003	1.968	<0.001	<0.05	0.0039	0.0002	<0.0002	0.0002
11	QRurec3	<1.2	<1.2	0.3	0.6	146	2.4	10.5	0.5	20.2	3.7	8.37	52.5	0.0767	0.0250	<0.0003	3.128	<0.001	<0.05	0.0066	0.0004	<0.0002	0.0004
12	(QSNom1) [Obs.]	<1.2	44.3	0.3	<0.2	9	3.0	2.3	0.2	11.5	3.7	0.23	3.7	0.1321	0.0021	<0.0003	0.030	<0.001	<0.05	0.0192	<0.0002	<0.0002	<0.0002
13	QSNom2	<1.2	49.8	<0.2	<0.2	2	3.0	1.1	0.2	10.0	5.1	0.13	0.9	0.0425	0.0006	<0.0003	0.079	<0.001	<0.05	0.0039	<0.0002	<0.0002	<0.0002
14	QSNom3	<1.2	<1.2	0.6	1.0	302	1.0	25.7	0.4	22.2	4.1	65.37	131.4	0.0637	0.3005	<0.0003	10.573	<0.001	<0.05	0.0076	0.0007	<0.0002	0.0005
15	QSNom4	<1.2	25.1	<0.2	<0.2	5	1.2	0.7	<0.2	6.3	2.3	0.96	2.4	0.0295	0.0029	<0.0003	0.022	<0.001	<0.05	0.0020	<0.0002	<0.0002	<0.0002
16	QSNom5	<1.2	<1.2	0.6	0.6	244	0.6	16.5	0.2	14.0	3.0	36.26	85.6	0.0395	0.0682	<0.0003	7.299	<0.001	<0.05	0.0045	0.0004	<0.0002	0.0003
17	(QSNom6) [Obs.]	<1.2	<1.2	0.5	1.8	291	1.0	24.3	0.4	20.3	3.5	28.42	116.4	0.0546	0.0286	<0.0003	10.558	<0.001	<0.05	0.0053	0.0006	<0.0002	0.0005
18	QSNom7	<1.2	<1.2	0.6	0.7	250	1.1	21.5	0.4	18.4	4.1	44.30	103.4	0.0536	0.0271	<0.0003	9.017	<0.001	<0.05	0.0064	0.0005	<0.0002	0.0005
19	QUqui	<1.2	<1.2	0.5	1.1	254	3.3	18.8	0.8	21.6	4.9	61.04	104.8	0.0935	0.0319	<0.0003	6.421	<0.001	<0.05	0.0059	0.0007	<0.0002	0.0003
20	RNegr	<1.2	<1.2	0.4	0.5	170	3.0	14.6	0.8	22.7	4.8	24.53	74.4	0.0908	0.0265	<0.0003	4.535	<0.001	<0.05	0.0078	0.0005	<0.0002	0.0003
21	ROlle	<1.2	<1.2	0.4	1.3	167	4.1	12.5	0.9	21.6	4.8	22.47	63.5	0.1048	0.0341	<0.0003	4.251	0.003	0.08	0.0152	0.0005	<0.0002	0.0004

LDM: Límite de detección de método.

[LCM] Corresponde al límite de cuantificación del método.

[Obs.] Corresponde a resultados de muestras no idóneas para el ensayo, debido a que la muestra no cumple los criterios mínimos de aceptación establecidos por la Dirección de Laboratorios, descritos en la especificación técnica M2.2-ET-001 (criterios de aceptación de muestras). Ver formato M2.2-F-113: Ficha de muestras observadas (CI 2022-00326), firmada por el cliente.

Método de referencia:

a. SMEWW-APHA-AWWA-WEF PART 2320 B, 23RD ED. 2017. ALKALINITY. TITRATION METHOD.
b. DETERMINATION OF INORGANIC ANIONS BY ION CHROMATOGRAPHY; EPA 300.0, REV. 2.1, 1983.
c. DETERMINATION OF METALS AND TRACE ELEMENTS IN WATER AND WASTES BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA-ATOMIC EMISSION SPECTROMETRY; EPA 200.7 REV.4.4, 1994.
d. DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN WATER AND WASTES BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA-MASS SPECTROMETRY; EPA- METHOD 200.8 REV. 5.4, 1994.

Fecha de emisión del informe de ensayo: 2022-11-10.

Laboratorio de Química INGEMMET — Wendy Yupton Zuñiga Berdales
Laboratorio de Química INGEMMET — Miriam Flores Caamaño Pacquiao
Laboratorio de Química INGEMMET — Mirna Zenobi Rojas Fernández

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N°LE-182

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N°LE - 182

INFORME DE ENSAYO ACREDITADO

INFORME DE ENSAYO Nº140-2022-INGEMMET/DL-LQ

Ensayos solicitados		Metales totales [d]																			
Código del *proceso*		M2.2.2.2-2																			
Fecha de análisis:		2022-10-28																			
Elementos		Ce	Co	Cr	Cu	La	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn
Unidades		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
No	LDM / Código	0.0002	0.0002	0.001	0.0005	0.0002	0.0002	0.0002	0.0007	0.0005	0.0008	0.002	0.0005	0.0002	0.0006	0.0001	0.0001	0.0005	0.0005	0.0005	0.001
1	LTara1	0.0133	0.0604	0.001	0.0066	0.0049	1.4342	<0.0002	0.1094	0.0027	<0.0008	<0.002	<0.0005	0.0002	0.0076	<0.0001	<0.0001	0.0013	<0.0005	0.0223	0.351
2	LTara2	0.0048	0.0102	<0.001	0.0060	0.0026	0.5553	0.0003	0.0187	0.0044	<0.0008	<0.002	0.0013	0.0002	0.0268	<0.0001	<0.0001	0.0014	<0.0005	0.0042	0.131
3	LTara3	0.0088	0.0574	<0.001	0.0075	0.0034	1.2884	0.0003	0.0985	0.0021	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0010	<0.0001	<0.0001	0.0006	<0.0005	0.0164	0.281
4	QArar	<0.0002	0.0003	<0.001	0.0012	<0.0002	0.0186	<0.0002	0.0017	0.0011	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0006	<0.0001	<0.0001	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.016
5	QOtut	0.0136	0.1239	<0.001	0.0084	0.0056	2.3071	<0.0002	0.1624	0.0024	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0007	<0.0001	0.0001	<0.0005	<0.0005	0.0181	0.414
6	QPuma	0.0018	0.0621	<0.001	0.0062	0.0007	1.6142	0.0004	0.1981	0.0011	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0048	<0.0001	0.0002	0.0012	<0.0005	0.0168	0.554
7	QPuyh	<0.0002	<0.0002	0.001	0.0022	<0.0002	0.0037	0.0007	<0.0007	0.0016	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0031	<0.0001	<0.0001	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.034
8	QQuil	<0.0002	0.0005	<0.001	0.0027	<0.0002	0.0303	<0.0002	0.0023	<0.0005	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0006	<0.0001	<0.0001	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.013
9	QRurec1	<0.0002	<0.0002	0.001	0.0016	<0.0002	0.0032	0.0136	<0.0007	0.0013	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0023	<0.0001	0.0182	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.016
10	QRurec2	0.0042	0.0272	<0.001	0.0036	0.0017	0.6081	0.0012	0.0463	0.0010	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0037	<0.0001	0.0012	<0.0005	<0.0005	0.0076	0.141
11	QRurec3	0.0068	0.0431	<0.001	0.0058	0.0027	0.9899	0.0020	0.0751	0.0015	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0066	<0.0001	0.0019	<0.0005	<0.0005	0.0121	0.237
12	(QSNom1) [Obs.]	<0.0002	<0.0002	0.004	0.0012	<0.0002	0.0086	0.0010	0.0053	0.0008	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0010	<0.0001	0.0006	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.013
13	QSNom2	<0.0002	<0.0002	<0.001	0.0011	<0.0002	0.0047	0.0004	<0.0007	0.0012	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0038	<0.0001	<0.0001	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.046
14	QSNom3	0.0174	0.1811	<0.001	0.0084	0.0071	3.2579	0.0002	0.2368	0.0015	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0011	<0.0001	0.0002	0.0005	<0.0005	0.0250	0.555
15	QSNom4	<0.0002	0.0002	<0.001	0.0006	<0.0002	0.0504	<0.0002	<0.0007	0.0007	<0.0008	<0.002	0.0017	<0.0002	0.0006	<0.0001	<0.0001	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.008
16	QSNom5	0.0105	0.1205	<0.001	0.0039	0.0043	2.0418	<0.0002	0.1558	0.0009	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0008	<0.0001	0.0001	<0.0005	<0.0005	0.0147	0.332
17	(QSNom6) [Obs.]	0.0145	0.1714	<0.001	0.0048	0.0061	2.8791	<0.0002	0.2181	0.0008	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	<0.0006	<0.0001	0.0002	0.0005	<0.0005	0.0210	0.471
18	QSNom7	0.0131	0.1460	<0.001	0.0059	0.0054	2.5309	0.0002	0.1900	0.0012	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0009	<0.0001	0.0002	0.0008	<0.0005	0.0186	0.422
19	QUqui	0.0070	0.0727	<0.001	0.0049	0.0028	1.6009	0.0003	0.1397	0.0010	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0023	<0.0001	0.0001	0.0008	0.0006	0.0140	0.373
20	RNegr	0.0065	0.0518	<0.001	0.0058	0.0026	1.1681	0.0013	0.0973	0.0015	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0002	0.0072	<0.0001	0.0014	0.0007	<0.0005	0.0129	0.270
21	ROlle	0.0066	0.0479	0.001	0.0085	0.0027	1.0997	0.0023	0.0878	0.0037	<0.0008	<0.002	0.0007	<0.0002	0.0097	<0.0001	0.0014	0.0012	0.0009	0.0120	0.249

LDM: Límite de detección de método.

[Obs.] Corresponde a resultados de muestras no idóneas para el ensayo, debido a que la muestra no cumple los criterios mínimos de aceptación establecidos por la Dirección de Laboratorios, descritos en la especificación técnica M2.2-ET-001 (criterios de aceptación de muestras). Ver formato M2.2-F-113: Ficha de muestras observadas (CI 2022-0326), firmada por el cliente.

Método de referencia:
d. *DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN WATER AND WASTES BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA-MASS SPECTROMETRY; EPA- METHOD 200.8 REV. 5.4, 1994.*

Fecha de emisión del informe de ensayo: 2022-11-10.

Laboratorio de Química INGEMMET
Laboratorio de Química INGEMMET

INFORME DE ENSAYO ACREDITADO

Código: M2.2-F-043 Versión: 00 Fecha de aprob.: 16/08/2022
Página: 4 de 4

INFORME DE ENSAYO Nº140-2022-INGEMMET/DL-LQ

Ensayos solicitados		Aniones [a]	Fisicoquímico [e,f]	
Código del *proceso*		M2.2.2.2-5	-	
Fecha de análisis:		2022-10-07 y 2022-10-10	2022-10-07	
Elementos		(*) Alcalinidad total	(pH)**	(C.E.)**
Unidades		mg/L	-	µS/cm
No	Código / LDM	1.2 [LCM]	-	-
1	LTara1	<1.2	2.76	1257
2	LTara2	<1.2	3.65	334
3	LTara3	<1.2	2.88	854
4	QArar	(8.6) [Obs.]	6.97	55
5	QOtut	(<1.2) [Obs.]	2.80	1022
6	QPuma	(<1.2) [Obs.]	2.72	1538
7	QPuyh	31.4	7.56	72
8	QQuil	(4.5) [Obs.]	6.55	47
9	QRurec1	18.7	7.35	57
10	QRurec2	<1.2	3.09	599
11	QRurec3	<1.2	3.08	603
12	QSNom1	(36.3) [Obs.]	7.08	91
13	QSNom2	40.8	7.82	76
14	QSNom3	(<1.2) [Obs.]	2.69	1349
15	QSNom4	(20.6) [Obs.]	7.37	51
16	QSNom5	(<1.2) [Obs.]	2.74	1139
17	QSNom6	(<1.2) [Obs.]	1.35	20470
18	QSNom7	(<1.2) [Obs.]	2.74	1139
19	QUqui	<1.2	2.75	1108
20	RNegr	<1.2	2.89	836
21	ROlle	<1.2	2.96	759

LDM: Límite de detección de método.

(**) Parámetros medidos en el Laboratorio de Química.

[LCM] Corresponde al límite de cuantificación del método.

([Obs.]): Obs. Corresponde a resultados de muestras no idóneas para el ensayo, debido a que la muestra no cumple los criterios mínimos de aceptación establecidos por la Dirección de Laboratorios, descritos en la especificación técnica M2.2-ET-001 (criterios de aceptación de muestras). Ver formato M2.2-F-113: Ficha de muestras observadas (CI 2022-0326), firmada por el cliente.

Método de referencia:
a. SMEWW-APHA-AWWA-WEF PART 2320 B, 23RD ED. 2017. ALKALINITY. TITRATION METHOD.
e. SMEWW-APHA-AWWA-WEF PART 4500-H + B, 23RD ED. PH VALUE: ELECTROMETRIC METHOD.
f. SMEWW-APHA-AWWA-WEF PART 2510 B, 23RD ED.2017. CONDUCTIVITY: LABORATORY METHOD.

Fecha de emisión del informe de ensayo: 2022-11-10.

(*) Método acreditado.

Documento firmado digitalmente

QUÍM. MAYRA M. MOGROVEJO ROMÁN
CQP: 1044
Especialista coordinador del Laboratorio de Química
Dirección de Laboratorios
INGEMMET