



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



EVALUACION DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de la **TESIS** cuyo título es:

"CONTAMINACIÓN DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS DE MINA Y SU IMPACTO EN EL SISTEMA ACUÁTICO SUPERFICIAL DE LA ZONA OTOCA – AYACUCHO – 2021"

Presentado por:

LOAYZA GUTIÉRREZ, JESSENIA LEONOR

Del **DOCTORADO EN GESTIÓN AMBIENTAL**.

Que, se ha recibido del operador del programa informático evaluador de originalidad de la Escuela de Posgrado de la UNICA, el informe automatizado de originalidad, el mismo que concluye de la siguiente manera:

El documento de investigación APRUEBA los criterios de originalidad con un porcentaje de similitud de 12%.

Para dar fe, se adjunta al presente el reporte de similitud de las bases de datos de iThenticate. En Ica 25 de febrero de 2025.

Atentamente

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
ESCUELA DE POSGRADO



Mario Gustavo Reyes Mejía
Dr. MARIO GUSTAVO REYES MEJÍA
DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN GESTION AMBIENTAL



Título

“Contaminación de los efluentes líquidos de mina y su impacto
en el sistema acuático superficial de la zona Otoa – Ayacucho – 2021”

Línea de investigación:

Salud Pública y Conservación del Medio Ambiente

Autora:

Mg. Loayza Gutiérrez, Jessenia Leonor

Para Optar el Grado Académico de
Doctor en Gestión Medio Ambiental

Ica, Perú

2025

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi familia, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de este viaje académico. A mis mentores y colegas, cuya guía y colaboración han sido fundamentales. A mis amigos, por su comprensión y ánimo en los momentos más desafiantes. Y, finalmente, a todos aquellos que trabajan incansablemente por un futuro ambientalmente sostenible.

Jessenia

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional San Luis Gonzaga por proporcionarme una experiencia universitaria inigualable y a los docentes de la Escuela de Posgrado por su dedicación y sabiduría. Gracias a sus enseñanzas y conocimientos, he podido formarme como una profesional comprometida y preparada para enfrentar los desafíos de la gestión ambiental.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	10
II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	25
III. RESULTADOS	27
IV. DISCUSIÓN	48
V. CONCLUSIONES	51
VI. RECOMENDACIONES	52
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
VIII. ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01	Parámetros Físico – Químicos de los efluentes	27
Tabla 02	Aniones	27
Tabla 03	Metales totales	28
Tabla 04	Aguas abajo – parámetros físico – químicos	29
Tabla 05	Aguas Abajo – aniones	29
Tabla 06	Aguas Abajo – metales totales	30
Tabla 07	Conductividad eléctrica entre fuentes	31
Tabla 08	Comparaciones de conductividad entre fuentes	31
Tabla 09	Dureza entre fuentes	32
Tabla 10	Comparaciones de dureza entre fuentes	32
Tabla 11	pH entre fuentes	33
Tabla 12	Comparaciones de pH entre fuentes	33
Tabla 13	solidos totales entre fuentes	34
Tabla 14	Comparaciones de solidos totales entre fuentes	34
Tabla 15	Turbidez entre fuentes	35
Tabla 16	Comparaciones de turbidez entre fuentes	35
Tabla 17	Clorito entre fuentes	36
Tabla 18	Comparación de clorito entre fuentes	36
Tabla 19	Cloruro entre fuentes	37
Tabla 20	Comparación de cloruro entre fuentes	37
Tabla 21	Fluoruro entre fuentes	38
Tabla 22	Comparación de fluoruro entre fuentes	38
Tabla 23	Nitrato entre fuentes	39
Tabla 24	Comparación de nitrato entre fuentes	39
Tabla 25	Nitrito entre fuentes	40
Tabla 26	Comparación de nitrito entre fuentes	40
Tabla 27	Sulfato entre fuentes	41
Tabla 28	Comparación de sulfato entre fuentes	41
Tabla 29	Aluminio entre fuentes	42
Tabla 30	Comparación de aluminio entre fuentes	42

Tabla 31	Boro entre fuentes	43
Tabla 32	Comparaciones de boro entre fuentes	43
Tabla 33	Cobre entre fuentes	44
Tabla 34	Comparaciones de cobre entre fuentes	44
Tabla 35	Manganeso entre fuentes	45
Tabla 36	Comparaciones de manganeso entre fuentes	45
Tabla 37	Sodio entre Fuentes	46
Tabla 38	Comparación de sodio entre fuentes	46
Tabla 39	Zinc entre Fuentes	47
Tabla 40	Comparación de zinc entre fuentes	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01	Conductividad eléctrica entre fuentes	31
Figura 02	Dureza entre fuentes	32
Figura 03	pH entre fuentes	33
Figura 04	Sólidos totales entre fuentes	34
Figura 05	Turbidez entre fuentes	35
Figura 06	Clorito entre fuentes	36
Figura 07	Cloruro entre fuentes	37
Figura 08	Fluoruro entre fuentes	38
Figura 09	Nitrato entre fuentes	39
Figura 10	Nitrito entre fuentes	40
Figura 11	Sulfato entre fuentes	41
Figura 12	Aluminio entre fuentes	42
Figura 13	Boro total entre fuentes	43
Figura 14	Cobre total entre fuentes	44
Figura 15	Manganeso total entre fuentes	45
Figura 16	Sodio total entre fuentes	46
Figura 17	Zinc total entre fuentes	47

Resumen

Objetivo: Hallar el impacto producido por contaminación de los efluentes líquidos de mina en el sistema acuático superficial en la zona de Otoa-Ayacucho-2021.

Metodología: Se desarrolló un estudio descriptivo, longitudinal, en el que se recolectó la muestra de estudio mediante un muestreo no aleatorio por conveniencia con tres repeticiones de muestra de los efluentes líquidos de mina y las aguas superficiales (aguas abajo y aguas arriba) de la zona de Otoa, provincia de Lucanas, región Ayacucho. Se midieron la magnitud de las variables conductividad eléctrica, dureza, pH, sólidos totales disueltos, turbidez, clorito, cloruro, nitrato, nitrito, sulfato, aluminio, arsénico, bario, boro, cobre, hierro, manganeso, sodio y zinc.

Resultados: Se halló en los efluentes una conductividad eléctrica igual a 1350 $\mu\text{S}/\text{cm}$; dureza: 450 mg/L; pH: 5.12; sólidos totales: 1016 mg/L y turbidez: 2.9 NTU, indican una conductividad eléctrica alta y una dureza significativa, lo que sugiere una elevada concentración de minerales disueltos en el agua, típicamente asociados con actividades mineras. En el sistema acuático superficial aguas abajo, los valores se encuentran dentro de los límites aceptables según las normas ambientales vigentes en Perú. La conductividad eléctrica media fue de 717 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la dureza de 243 mg/L, el pH de 7,75, los sólidos totales disueltos de 453 mg/L y la turbidez de 3,9 NTU, todos dentro de los rangos permisibles. El impacto de los efluentes en la presencia de metales pesados en las aguas superficiales muestra valores de significancia de 0,018 para aluminio, cobre y zinc, 0,035 para boro, 0,029 para sodio, y 0,08 para manganeso. Excepto el manganeso, estos valores, todos menores a 0,05, indican diferencias estadísticamente significativas en la concentración de estos metales entre las muestras analizadas.

Conclusión: La conductividad eléctrica, dureza, pH, sólidos totales disueltos y turbidez muestran diferencias estadísticamente significativas, al igual que las concentraciones de clorito, cloruro, fluoruro, nitrato, nitrito y sulfato. Además, los niveles de aluminio, boro, cobre, sodio y zinc también presentan significancia estadística, destacando el impacto negativo de los efluentes.

Palabras claves. Efluentes, mina, Otoa, aguas arriba.

Abstract

Objective: To determine the impact of liquid mine effluent contamination on the surface aquatic ecosystem in the mining area of Otocha-Ayacucho-2021.

Methodology: A descriptive, longitudinal study was conducted, in which the study sample was collected using non-random convenience sampling with three sample repetitions of liquid mine effluents and surface waters (downstream and upstream) from the Otocha mining area, Lucanas province, Ayacucho region. The magnitude of the variables electrical conductivity, hardness, pH, total dissolved solids, turbidity, chlorite, chloride, nitrate, nitrite, sulfate, aluminum, arsenic, barium, boron, copper, iron, manganese, sodium, and zinc were measured.

Results: The effluents showed an electrical conductivity of 1350 $\mu\text{S}/\text{cm}$; hardness: 450 mg/L; pH: 5.12; total dissolved solids: 1016 mg/L; and turbidity: 2.9 NTU, indicating high electrical conductivity and significant hardness, suggesting a high concentration of dissolved minerals in the water, typically associated with mining activities. In the downstream surface aquatic ecosystem, the values are within acceptable limits according to current environmental regulations in Peru. The mean electrical conductivity was 717 $\mu\text{S}/\text{cm}$, hardness 243 mg/L, pH 7.75, total dissolved solids 453 mg/L, and turbidity 3.9 NTU, all within permissible ranges. The impact of effluents on the presence of heavy metals in surface waters shows significance values of 0.018 for aluminum, copper, and zinc, 0.035 for boron, 0.029 for sodium, and 0.08 for manganese. Except for manganese, these values, all less than 0.05, indicate statistically significant differences in the concentration of these metals among the samples analyzed.

Conclusion: Electrical conductivity, hardness, pH, total dissolved solids, and turbidity show statistically significant differences, as do the concentrations of chlorite, chloride, fluoride, nitrate, nitrite, and sulfate. Additionally, the levels of aluminum, boron, copper, sodium, and zinc also present statistical significance, highlighting the negative impact of the effluents.

Keywords: Effluents, mine, Otocha, upstream.

I. INTRODUCCIÓN

La construcción de túneles en el interior de la tierra a determinados niveles, permite la filtración de agua por las paredes, la cual puede ser en grandes o pequeñas cantidades que paulatinamente se va acumulando en el lecho de los socavones. Esta agua recibe el nombre de agua de mina y una de sus características fundamentales es que es ácida debido a la interacción del agua con los sulfuros presentes en la roca, lo que la convierte en agua ácida de mina, cuya capacidad contaminante es extremadamente peligrosa, ya que se filtra a través del terreno y en su recorrido va disolviendo diversos compuestos químicos que contienen metales pesados, que finalmente van a llegar hasta los cuerpos de agua subterránea acumulándose, haciendo de que estas sean cada vez menos aptas para el consumo humano.

En la zona de Otoa en la región Ayacucho, existen muchas minas artesanales las mismas que bombean el agua generada en el interior de los socavones de manera inadecuada, sin ningún tratamiento, generando impacto negativo en las aguas superficiales.

Actualmente, el impacto de la minería es uno de los problemas que afecta al medio ambiente mundial, donde el Perú no se encuentra exento de dicho problema, ya que es un país con grandes yacimientos mineros. Los problemas de la minería de originan, por lo general, a nivel de la minería artesanal y la pequeña minería. En la minería artesanal la informalidad de la misma constituye su principal problema, ya que limita las posibilidades reales para su desarrollo integral: contaminación ambiental, depredación de yacimientos existentes, graves deficiencias de seguridad, discriminación social y económica, conflictos con las compañías mineras formales, falta de transparencia en los manejos financieros, etc. Estos son solo algunos de los efectos más importantes. Otro problema es que políticamente no es bueno permitir que esta actividad se mantenga en la informalidad, porque afecta la credibilidad del país en tanto se afirme oficialmente que es Política Nacional, apoyar la inversión minera en condiciones de estabilidad y seguridad jurídica.

Por otro lado, en la minería de pequeña escala, el principal problema radica en la seguridad laboral, caracterizada, además de una labor extremadamente ardua, por serias carencias de seguridad, y las repercusiones extremadamente perjudiciales para la salud, provocadas directamente por intoxicaciones, accidentes, polvo, entre otros.

En cuanto a las razones políticas, hay una escasa supervisión del Estado peruano respecto a los factores ambientales. Mediante el Ministerio de Energía y Minas (MEM), que también es dueño o accionista de compañías mineras, regula las políticas de la industria minera, supervisa el respeto a las regulaciones medioambientales y al mismo tiempo fomenta las inversiones mineras. Por esta razón, el MEM toma decisiones respecto a tierras, agua y la inversión en minería. No hay ninguna entidad que supervise las acciones del Ministerio de Energía y Minas para salvaguardar los derechos e intereses de las comunidades impactadas. En contraposición, observamos que la Constitución Política, enfocada en la minería, ha asignado al Estado el deber de valorar y proteger los

recursos naturales, incentivar su uso lógico y fomentar su industrialización para estimular el crecimiento económico, tal como lo dicta el Art. 119 (Ministerio de Energía y Minas 1993: 160). No obstante, el Estado no está desempeñando estas tareas; por lo tanto, emergen los desafíos de la minería previamente mencionados.

En conclusión, el desafío de la minería no radica en su propia naturaleza, sino en la irresponsabilidad de los empresarios mineros que no cumplen con las normas medioambientales, perturbando el ecosistema y generando problemas sociales. Para ello, es necesario que el Estado establezca entidades que supervisen las actividades mineras, salvaguardando los derechos de las comunidades mineras que han experimentado este efecto

En la actualidad, en Perú, observamos que, además de tener beneficios para la economía, la minería ha generado diversos problemas en los trabajadores de la minería, en la población local y en el entorno natural. Esto se debe a que todas estas personas sufren daños en su salud debido a la actividad peligrosa y la falta de asistencia gubernamental en situaciones de emergencia. En cambio, en el entorno natural, ocurre un desbalance ecológico que impacta a los organismos vivos.

El impacto medioambiental de la industria minera genera posibles contaminantes que inciden en el agua y el aire. En el entorno natural, los excesos pueden surgir debido a los drenajes de agua de las minas, deslaves o relaves de las minas. Algunos metales, como el cadmio y el mercurio, y metaloides como el antimonio o el arsénico, que son frecuentemente encontrados en cantidades reducidas en depósitos metálicos, son extremadamente tóxicos en cantidades reducidas, especialmente en su forma soluble, que puede ser asimilada por los seres vivos. En Otonaga, provincia de Lucana, región Ayacucho, en las últimas décadas se han hecho varias perforaciones de minas subterráneas precarias, que buscan extraer oro y cobre, siendo la roca sulfurosa y generando considerables volúmenes de aguas ácidas de mina, las cuales están contaminando las aguas superficiales por el mal manejo de esos efluentes y que es preciso establecer cual es realmente el impacto producido en la composición química de estas aguas.

La presente investigación se justifica desde el punto de vista académico porque posibilita establecer criterios científicos sobre el mecanismo de contaminación de las aguas superficiales por efecto de las aguas ácidas de mina (efluentes líquidos de mina), que son bombeadas hacia el exterior de los socavones, descargándolas a las aguas del río que fluye por la zona.

La importancia radica en que dará a conocer los mecanismos de contaminación de las aguas subterráneas para que se tomen las medidas correctivas necesarias y se evite una contaminación masiva de este recurso que es utilizado por las poblaciones aledañas para su uso diario. De esta manera se trata de disminuir el deterioro del medio ambiente (suelos y agua) y salvaguardar la salud de la población.

La búsqueda bibliográfica permitió hallar los siguientes antecedentes internacionales:

En el año 2015, Rodríguez, R., presentó su tesis titulada *La contaminación de las aguas superficiales. Moa. Holguín. Cuba*, a la Universidad De La Habana, la investigación se llevó a cabo en el acuífero aluvial del Río Moa, donde se ha identificado la presencia de altos niveles de sulfatos, níquel, cromo, manganeso e hierro, debido a la recarga provocada por las aguas que lixivian los desechos mineros depositados en una presa de almacenamiento de estériles en las terrazas del río. Las aguas se transforman de bicarbonatadas magnésicas a sulfatadas magnésicas, presentando una mineralización que oscila entre 200 y 6000 mg/L. Se observa una combinación de las aguas del acuífero con las aguas de desecho. La salinidad del acuífero y la concentración de los componentes principales (Cr, Mn, Ni, Fe) se incrementan hacia la presa de estériles. Hoy en día, los niveles de contaminación registrados en los pozos de suministro no son preocupantes, sin embargo, en el área vecina se nota un aumento significativo, en parte a causa del crecimiento continuo de los residuos vertidos y el impacto de las condiciones meteorológicas del área. En la investigación, el escritor alcanza las conclusiones siguientes: El alto nivel de minería en las aguas, la elevada presencia de metales pesados y sulfatos en el acuífero aluvial de las terrazas del río Moa, junto con la presencia de un gradiente de concentraciones de contaminantes siempre ascendentes hacia la presa de desechos, permite inferir que la contaminación del acuífero se ha originado por la recarga del lixiviado de los desechos que conforman la presa. Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un asunto pendiente, que puede ser agravado por la presencia de fisuras de retracción en la superficie del embalse que puedan representar rutas para el surgimiento de flujo preferencial. Entendiendo que los procesos de contaminación dependen de las propiedades de la fuente contaminante y la duración de los contaminantes en el medio, es probable que la contaminación del acuífero siga aumentando con el paso del tiempo, a causa del aumento en la cantidad de desechos vertidos a la presa y las condiciones meteorológicas de la región que promueven la infiltración de las aguas metálicas (precipitación alta que ocurre en espacios cortos de tiempo).

En el año 2017, Pérez, A., presentó su tesis titulada *Impacto de la minería subterránea en acuíferos: perspectivas en el contexto colombiano*, a la Universidad de Bogotá. En este estudio se analiza el efecto de la minería subterránea en el recurso acuático y algunas de sus consecuencias conceptuales en el escenario colombiano. Específicamente, se analizan las consecuencias de la aplicación de diversas aproximaciones conceptuales en la representación numérica de estos impactos. Se sugiere un procedimiento de modelación eficaz para simular el efecto de la extracción constante de agua de los túneles y las alteraciones (geo)químicas provocadas en la superficie y la subsuperficie. Este protocolo se centra principalmente en los estudios conceptuales de hidrogeología vinculados a las variaciones en las direcciones de flujo y el comportamiento regional de los niveles freáticos, frecuentemente condicionados por las actividades mineras. Un protocolo de esta naturaleza constituye el inicio para la creación de sistemas de apoyo a decisiones que nos faciliten la creación de sistemas de vigilancia y seguimiento, además de la elaboración de alternativas de

mitigación y remediación. Para finalizar el análisis de las consecuencias del empleo de diversas aproximaciones teóricas para ilustrar conceptualmente el acuífero vinculado a una minería, se emplea un medio fracturado generado de manera sintética. Los hallazgos demuestran la gran importancia de emplear un enfoque conceptual que contemple una caracterización geométrica minuciosa de las fracturas, de modo que el modelo pueda reflejar la respuesta auténtica del acuífero. Los hallazgos también evidencian las significativas discrepancias entre la aplicación de una aproximación de fracturas discretas y la utilización de un modelo de medio poroso equivalente, lo que podría influir en el diseño de medidas de mitigación y control. El escritor determina que: El estudio conceptual hidrogeológico del campo de estudio vinculado a las explotaciones mineras subterráneas debe centrarse en los posibles efectos que la actividad minera podría causar en el componente subsuperficial. Estos impactos están principalmente vinculados con la modificación de las rutas de flujo subterráneo y del componente geoquímico, la conexión de unidades hidrológicas previamente desvinculadas, y la disminución regional del nivel freático a causa de la extracción continua de agua desde los túneles, lo que resulta en la aparición de subsidencia. En términos generales, la extracción de grandes cantidades de agua de túneles de excavación puede impactar el ciclo hidrológico, especialmente puede desconectar los cuerpos superficiales de la tabla de agua, amenazando así los flujos de estiaje

En el año 2016 Tovar, D. presentó su tesis titulada *Vulnerabilidad del agua frente a la actividad minera y prevención de la generación de aguas ácidas de mina*, a la Universidad de Brasilia, en el cual concluye que: Los cursos de agua superficiales se contaminan por los efluentes procedentes de minas subterráneas o de escombreras. Si la roca es pirítica, la calidad de esta agua será, en general, muy mala. No obstante, si la calidad de las aguas vertidas a los arroyos mejora, en general rápidamente, es debido a varios procesos: 1) Dilución de las aguas ácidas por parte de otras aguas, subterráneas y superficiales, menos mineralizadas, que vierten al cauce. 2) Precipitación de los cationes metálicos, en forma de hidróxidos y sulfatos, a medida que desciende el pH. 3) Adsorción de los cationes metálicos, por parte de sedimentos orgánicos e inorgánicos, y también de algunas plantas acuáticas. Tras los grandes aguaceros, se producen los momentos más críticos, ya que se lixivian las sales solubles, formadas en la escombrera desde la última precipitación, y la calidad de los efluentes se deteriora mucho. Con frecuencia, la dilución natural de la cuenca no es suficiente, en estos períodos, para mantener calidades adecuadas aguas abajo. Por otra parte, durante las crecidas, las aguas transportan gran cantidad de sólidos en suspensión, procedentes de la erosión de las escombreras e, incluso, se puede producir la avalancha de sus materiales. Esto puede dar lugar al taponamiento de algunos cauces, y a la alteración del esquema de drenaje de la cuenca. Cuando la dilución de las aguas ácidas no es suficiente, el arroyo queda significativamente contaminado. Se produce la oxidación del hierro ferroso disuelto, a férrico, precipitándose una capa de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en el fondo del cauce. La deposición de este hidróxido se ve favorecida por la pre-

sencia, en las aguas, de bacterias oxidantes del hierro ferroso, pertenecientes a los géneros *Crenothrix*, *Heptothrix*, *Gallionella* y otros. La presencia de $\text{Fe}(\text{OH})_3$, en el lecho del arroyo, tiene diversas consecuencias negativas: a) Los lechos de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ son de vivos colores, entre amarillo y rojo, predominando los tonos ocres, que producen un efecto estético desagradable. La presencia de hidróxido férrico, en el agua, es detectable a simple vista, incluso cuando su concentración no supera las 5 ppm. Habitualmente, la presencia de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ es el primer indicador de que el agua está contaminada. b) Los cationes ferrosos consumen oxígeno, lo cual reduce la cantidad disponible para el consumo de los organismos acuáticos. c) Gran parte de los organismos bentónicos no puede adaptarse a la vida en estas condiciones. Con su desaparición se altera gravemente la cadena alimenticia, lo cual afecta a los organismos superiores que actúan como depredadores. d) Se ve impedido el desove de numerosas especies de peces, alterando su ciclo reproductivo. Esto, unido a la disminución del alimento disponible, suele conducir a la destrucción de poblaciones de peces tan cotizados como las truchas. Los salmónidos no pueden desovar en aguas de pH inferior a 5. e) Unas pocas especies de algas e invertebrados se adaptan a las nuevas condiciones del cauce y, ante la falta de competencia, pueden llegar a constituir una plaga. f) Las aguas transportan cationes metálicos que se acumulan en los tejidos de los organismos, concentrándose finalmente en los depredadores superiores, con riesgos para el consumo humano. Por otra parte, se producen mortandades de peces cuando, tras las avenidas, las concentraciones de cationes aumentan. En este sentido, el cobre parece ser especialmente tóxico.

Entre los antecedentes nacionales, se halló un estudio publicado en el año 2015, por Ramírez, G., quien presentó su tesis titulada *Estudio técnico del tratamiento de aguas acidas*, a la universidad Nacional del Callao, en la que llega a las siguientes conclusiones: Conociendo la composición química del mineral de cabeza principalmente en sus contenidos de sulfuro y óxidos, es posible calcular el potencial neto de neutralización y predecir la posibilidad de formación de aguas acidas en sus drenajes respectivos. La reacción entre el ácido sulfúrico del agua de mina y el hidróxido de calcio, es una reacción ácido-base, mientras que la reacción entre las sales de sulfato de los diversos metales y el hidróxido de calcio, son reacciones de sustitución, que propician la formación de sales insolubles. Para el volumen de agua de mina propuesto se hacen los cálculos respectivos de la masa de hidróxido de calcio total, la masa de todos los hidróxidos formados y la masa de sulfato de calcio generado por la precipitación de las sales. Se ha desarrollado un programa de cálculo que permite ingresar el volumen de agua de mina, su pH inicial y su composición química particular que permite hacer todos los cálculos indicados. La concentración de las sales remanentes luego del proceso de tratamiento, están en función de la constante de producto de solubilidad de tal manera que esta propiedad limita la máxima extracción de las sales por el método de la precipitación. Generalmente este tratamiento denominado activo se hace cuando no es posible aplicar otros métodos denominados pasivos, generalmente cuando la mina se encuentre en operación y la acidez es muy alta. Dado que, durante el tratamiento, se forman precipitados

que contienen alrededor de 2% de sólidos, los cuales arrastran una masa similar, haciendo un total de 4% de pérdida por este proceso, luego en función del tiempo de almacenamiento, también se originan pérdidas por evaporación, alrededor de 10% y, en el transporte y en el proceso en si también hay pérdidas equivalentes al 5%, lo cual equivale a una pérdida total de 20% de la masa de agua total tratada, teniendo que reponer alrededor de 20 mL de agua por cada litro de agua tratada.

En el año 2016, Flores, H., presentó su tesis titulada *Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera*, a la Universidad Nacional de Cajamarca en la que llegó a las siguientes conclusiones: No es posible deducir que la existencia de metales pesados en el agua y sus tributarios tenga un vínculo directo con la actividad minera. El plomo fue el único metal que en cinco etapas de supervisión superó los criterios nacionales de calidad ambiental para agua de clase A3 en la estación húmeda. El punto RGR registró la concentración más alta de este metal (0,246 mg L⁻¹), superando en 392% el estándar nacional. En la estación climática húmeda, el manganeso superó en 18% el estándar nacional de calidad ambiental, mientras que en la estación seca, superó en 6.6% dicho estándar.

En el año 2015, López, J., presentó su tesis titulada *Tratamiento de aguas ácidas provenientes del pad de lixiviación con NaOH-almidón; en CIA minera Sipan SAC, durante cierre ambiental. Distrito de Llapa, Cajamarca, Perú, 2011-2012.*, a la Universidad Nacional de Trujillo, en la que llega a las siguientes conclusiones:

Hay una relación directa entre el nivel de acidez y el volumen de la muestra, en relación a las variaciones de pH, en relación a la concentración de cal o NaOH al 98%, a utilizar. Se logró el requisito de 1 - 1.50 gr de NaOH y 2 gr de cal, para conseguir el intercambio iónico, con valores finales de pH entre 6.2 - 7.3 tras los 4 días de observación y seguimiento de la muestra. Resulta evidente que los iones de metales pesados solubles se precipitan con facilidad al incrementar el nivel de pH en una solución, generando compuestos sensibles al hidróxido de metal, con los que los metales en solución se transforman en compuestos insolubles y se depositan en sedimentos y/o lodos. Además, se descubrió una relación entre el empleo de almidón en este tratamiento, determinándose que, en función del pH, el color final de las muestras fluctúa, debido a la existencia de compuestos orgánicos fosforados presentes en el almidón. Por lo tanto, los resultados obtenidos de las lecturas de las muestras (metales pesados tras los tratamientos), evidencian que el tratamiento es eficaz, tanto con el uso de NaOH - Almidón como con el uso de cal. Los resultados logrados en las lecturas de las muestras tratadas no exceden los valores que exceden 0.001 mg/L, en términos de concentración. Si se comparan con los límites máximos permisibles (LMP), se consideran valores aceptables.

El nivel de contaminación de las aguas de mina.

El agua de mina.

Agua de mina se define como el agua natural que se genera por filtración, a través de la roca que conforma las paredes de los socavones de las minas subterráneas y que se va acumulando en el piso de esta. Su composición química varía en función al tipo de roca con la que tiene contacto. Cuando la roca contiene sulfuros, el agua contribuye a la formación de ácido sulfúrico y por tanto se convierte en la llamada agua ácida de mina, efluente altamente contaminante para el medio ambiente, sobre todo para los suelos y el agua superficial y subterránea (ANON, 2016).

El drenaje ácido de mina.

Se denomina así, al agua ácida de mina que migra a través de las capas de suelo hacia el interior de la tierra, disolviendo compuestos químicos naturales que se encuentran en su recorrido, cargándose de sustancias contaminantes entre los que se encuentran los metales pesados, que son altamente perjudiciales para el organismo humano, pudiendo generar en él, diversos tipos de cánceres. El drenaje ácido de mina se refiere a procesos por los cuales el pH del agua en contacto con los sulfuros puede disminuir severamente, dando como resultado la disolución y transporte de metales tóxicos disueltos tales como arsénico, plomo, cadmio, y un conjunto de otros, además un drástico incremento del contenido de los sulfatos. Es casi imposible detener completamente el proceso una vez que se ha iniciado, y los efectos de la acidificación pueden continuar por muchos siglos (ANON, 2016). El drenaje ácido de mina puede ser el tema ambiental asociado al manejo de relaves potencialmente más dañino y difícil de tratar, y puede no ser evidente aún muchos años después del período de cierre de operaciones. Más que ningún otro asunto, el potencial para el drenaje ácido de mina es específico para cada cuerpo mineralizado y para sus condiciones físicas y climáticas; no hay reglas generales para predecirla, en cualquier mina o depósito sin el auxilio de pruebas geoquímicas. Existen, sin embargo, varios requisitos para que este proceso ocurra (CALBERT, 2015).

La primera condición necesaria para el drenaje ácido de mina es que los minerales sulfurados estén presentes en el lugar (en la mina), principalmente pirita, pero también otras formas aún más reactivas tales como la pirrotita y la marcasita. Esto puede ser determinado frecuentemente en forma cualitativa a partir de la información geológica respecto al cuerpo mineralizado.

En presencia de aire, la segunda condición, las superficies del mineral sulfurado se oxidan en una reacción compleja que involucra varios pasos químicos ayudados por bacterias, para formar ácido sulfúrico. Sin embargo, esta reacción por sí sola causará grandes problemas sólo si los minerales contienen cantidades insuficientes de otros minerales que consumen

ácido (por ejemplo, carbonato de calcio) para neutralizar el ácido, lo cual es la tercera condición necesaria. El requisito final es que los contaminantes generados sean trasladados de los depósitos de relaves hasta los terrenos de recepción o aguas subterráneas, usualmente mediante infiltración y drenaje. Teniendo en cuenta que estas cuatro condiciones son indispensables y adecuadas para que surja el problema del drenaje ácido de mina, existe la posibilidad de que no surjan problemas graves si uno de estos está ausente. Cada uno de estos cuatro elementos es extremadamente particular para cada organismo minero y para el contexto ambiental del depósito de relaves. Una prueba inicial de tipo predictivo para prever los drenajes ácidos de la mina, denominada balance ácido base o ABA (Acid-base accounting), se emplea para establecer si hay suficientes minerales que absorban ácidos para contrarrestar la cantidad total de ácido generada a largo plazo. Si esto es verdad, el drenaje ácido de mina puede desarrollarse a corto plazo si el ritmo de producción de ácido supera el ritmo de consumo de ácido en un momento específico y, en ese caso, se requiere realizar pruebas cinéticas en celdas de humedad que reproduzcan condiciones del entorno. (DOCKERY, 2017).

Los resultados de dichas pruebas demandan una mayor meticulosidad que las pruebas habituales de tratamiento ácido de los minerales. La naturaleza intrínseca de la mayoría de los cuerpos mineralizados hace que la mineralización y la geoquímica de la roca fluctúen significativamente en su tipo y/o grado, incluso en distancias muy reducidas. Un programa serio de pruebas de drenaje ácido de mina necesita un programa de muestreo estadísticamente representativo de los testigos de la exploración. Esto puede ser complicado, costoso y demandar mucho tiempo a menos que se incorpore al programa de exploración geológica del mismo cuerpo mineralizado; además, la prueba debe representar el plan de minado actual que se está desarrollando. Frecuentemente, algunas secciones del mineral a ser explotado pueden generar condiciones para el drenaje ácido de mina, mucho más desfavorables que otras. Este programa de pruebas puede facilitar una gestión selectiva de los relaves generados o proponer cambios en las secuencias de minado que reduzcan las dificultades en la gestión de relaves. Sin embargo, incluso el más avanzado de estos programas presenta restricciones. En términos generales, se puede predecir cualitativamente, basándose en las técnicas disponibles, si existe la posibilidad o no de que se presenten problemas de drenaje ácido de la mina. No obstante, es muy complicado e incierto estimar cuantitativamente la magnitud, gravedad y oportunidad de estos problemas. (HARRISON, 2015).

La oxidación de sulfatos solo puede comenzar si hay oxígeno en los intrínsecos del depósito de relaves, y por ende, puede ser evitada si se elimina este oxígeno. Una forma eficaz de lograrlo es mantener las áreas vacías repletas de agua y el depósito completamente saturado. La oxidación de los sulfatos también puede ser pospuesta si se limita la entrada de oxígeno al depósito, por ejemplo, al cubrir la superficie del depósito de forma que la

velocidad de difusión del oxígeno a través de la cobertura sea inferior a la necesidad de oxígeno por las reacciones químicas de drenaje ácido de la mina. A pesar de que el drenaje ácido de la mina se ha iniciado dentro del depósito, puede disminuirse la dispersión de sus efectos si la infiltración es insuficiente para llevar los componentes disueltos más allá de las fronteras del mismo depósito. También es posible disminuir la infiltración mediante coberturas, junto con la extracción del agua superficial y un adecuado tratamiento de la superficie del depósito (HARRISON, 2015).

Estos fundamentos son cruciales para entender los elementos del drenaje ácido de mina vinculados a los métodos alternativos de eliminación de relaves que se abordarán a continuación. Otro elemento relevante que afecta estos procedimientos es la localización geográfica.

Aguas superficiales.

Generalidades.

El agua superficial es aquella que se encuentra discurriendo o fija en la superficie terrestre, abierta a la atmósfera y conformando lagos, lagunas, charcas, ríos o arroyos, conformando cada uno de ellos los denominados sistemas acuáticos.

Las áreas de existencia de agua dulce se hallan en aguas con una cantidad de sales disueltas que no supera el 1%. Las aguas dulces se clasifican en formaciones estables de agua dulce, como lagos, charcas y humedales interiores, y formaciones móviles de agua dulce, como ríos y arroyos.

Únicamente un 1% de la superficie de la Tierra está revestida de agua dulce. No obstante, cerca del 41% de todas las especies de peces identificadas habitan en aguas dulces. La escorrentía suministra al agua nutrientes como nitrógeno y fósforo, debido a que las regiones de agua dulce se encuentran más próximas a los sistemas terrestres. Lugares de existencia en cuerpos estables de agua dulce, lagos y charcas son grandes y naturales cuerpos de agua estable. Principalmente son alimentados por el agua pluvial y la nieve al derretirse, y están compuestos por diversas áreas de vida distintas.

La primera área de existencia en los lagos de agua dulce corresponde a la región costera. La región litoral está próxima a la costa, donde se desarrollan las plantas con raíz. Es el área más productiva de un lago, ya que capta grandes cantidades de luz solar y nutrientes de la escorrentía. La región costera alberga plantas flotantes, plantas superficiales, plantas sumergidas y fitoplancton. Además, existen grandes volúmenes de desechos y ciertas especies animales, como ranas, peces e insectos. (STEM, 2016).

La zona de vida límpida se encuentra bajo la zona de vida litoral. Esta es la región desde la superficie del lago, que se expande hasta alcanzar la profundidad donde la luz solar incide. Según los nutrientes existentes, incluye fito- y zooplancton, así como varias especies de peces.

La zona de vida profunda se encuentra bajo la zona de vida límpida. La región de vida profunda se refiere al agua oscura y profunda que no puede ser penetrada por la luz solar intensa. En esta región solo se pueden hallar peces que sobreviven en condiciones más frías y sombrías. Finalmente, dentro de las reservas de agua dulce se encuentra otra área de vida conocida como zona de vida béntica, mayoritariamente ocupada por descomponedores y larvas de insectos.

Zonas de vida en cuerpos móviles de agua dulce

Las reservas de agua dulce móviles, como los ríos y los arroyos, son zonas que recogen el agua de las precipitaciones. Esta agua se transforma en escorrentía y se desplaza junto a los ríos y arroyos hasta el océano.

El desplazamiento del agua de la superficie hacia el mar sucede en tres áreas de vida distintas. Todas estas áreas de vida poseen sus propias condiciones ecológicas, lo que provoca que la variedad de especies cambie de un lugar a otro (CHAMEIDES, 2016)

En la primera región de vida, arroyos de agua clara y fría se precipitan a través de cascadas y corrientes rápidas. A medida que el agua se precipita, se disuelve una gran cantidad de oxígeno del aire. En esta región de existencia, especies de vegetación como las algas y los musgos, así como especies de peces como la trucha, son las más habituales. En estos arroyos existen escasas especies de plancton, y usualmente los peces muestran un cuerpo aplanado.

En la segunda región de vida, se encuentran cauces más amplios y profundos, y menos obstáculos. El agua presenta una mayor temperatura y un menor contenido de oxígeno, lo que permite que esta área de vida albergue a más especies de productores, como el fitoplancton.

En la tercera región, los cauces se transforman en ríos más profundos y separados, que se desplazan por valles de pendiente. En esta región de vida, el agua posee un contenido de oxígeno más bajo y una temperatura superior a la del agua en las dos primeras áreas. Los ríos y cauces se desplazan lentamente y poseen productores, como algas y cianobacterias, también existen plantas acuáticas que poseen raíces. Debido a la degradación del terreno (CHA-MEIDES, 2016).

Frecuentemente, el agua se encuentra enlodada y repleta de sólidos suspendidos. Normalmente, las reservas de agua dulce móviles obtienen sus nutrientes de la escorrentía del terreno.

Las áreas de vida de agua salada y dulce albergan una extensa diversidad de organismos, que interactúan entre ellos en múltiples cadenas de alimentación. Una cadena alimenticia es un sistema donde ciertos seres vivos se alimentan de otros, ya sean vegetales o animales,

con el objetivo de establecer un sistema sostenible donde las especies se mantengan equilibradas y no sufran una sobrepoblación. Los principales tipos de organismos en sistemas acuáticos son aquellos que flotan, son de tamaño reducido, conocidos como plancton, aquellos que nadan con gran habilidad llamados necton, aquellos que residen en el fondo llamados bentos y los descomponedores, como las bacterias (CHAMEIDES, 2016). El plancton es una clase de organismo que alberga a numerosas especies, ya que es absorbido por estas últimas. El fitoplancton es la clase de plancton de mayor relevancia, ya que se compone de productores. Esto implica fundamentalmente que genera materia que sustentará la vida de otros seres acuáticos, como el oxígeno. El fitoplancton también es el tipo de plancton que se consume con mayor frecuencia. Los demás tipos de plancton pueden ser medio-productores (nanoplancton) o consumidores (zooplancton).

El necton es un conjunto de nadadores y consumidores de mayor tamaño, que consumen plátanos o a otros consumidores. Algunos representantes de necton son las tortugas y peces. Las ostras y las langostas son dos ejemplos de bentos, los seres vivos que habitan en el fondo. Los descomponedores cumplen una función única en un sistema acuático: fragmentar (descomponer) materia orgánica. Transforman residuos vegetales y animales muertos en elementos nutritivos, los cuales pueden ser empleados por los promotores para generar materia sustentable de la vida.

Los entornos acuáticos ofrecen numerosos beneficios. El agua posee numerosas características y por lo tanto, es un tipo único de entorno para habitar. La presión acuática ofrece apoyo físico. Los cambios de temperatura son bastante restringidos, lo que disminuye la posibilidad de que los animales acuáticos se sobre caigan o se sequen. Es sencillo obtener los nutrientes necesarios, ya que están disueltos en agua. Cuando las toxinas se infiltran en el agua, rápidamente se transforman o se dispersan.

Todos estos son beneficios considerables de habitar bajo el agua. No obstante, también hay elementos que restringen la vida acuática. Los elementos que restringen qué tipos de vida pueden surgir en un área de vida acuática son:

- Temperatura
- Acceso a la luz solar
- Concentración de oxígeno disuelto
- Disponibilidad de nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo

Normalmente, la temperatura del agua se reduce con la profundidad, ya que a mayor profundidad, la luz solar se infiltrará menos en el agua. La mayor parte de los seres acuáticos poseen un espectro restringido de adaptabilidad a las variaciones de temperatura. No requieren más que eso, ya que es improbable que las temperaturas sufran cambios significativos bajo la superficie del agua. No obstante, si se producen alteraciones bruscas en la

temperatura, estas tendrán un impacto considerable en el rendimiento y supervivencia de los seres acuáticos.

Solo la luz solar tiene la capacidad de infiltrarse en el agua hasta una profundidad de aproximadamente 30 metros bajo la superficie. Los productores requieren de la luz solar para generar oxígeno y otros compuestos necesarios para mantener a los consumidores. Solo se puede producir en el área donde la luz solar puede infiltrarse. La materia suspendida puede obstaculizar la entrada de la luz solar al agua. Esto puede reducir la magnitud del área donde se realiza la producción.

El sistema acuático recibe oxígeno tanto desde la atmósfera como a través del fitoplancton. El agua tiene un impacto en la cantidad de oxígeno disuelto que proviene del oxígeno atmosférico. Cuando la concentración de oxígeno disuelto disminuye a menos de 3 ppm, varios consumidores, como peces y fitoplancton, serán mortales (CALBERT, 2015). Esto provoca que tanto el oxígeno disuelto como la temperatura del agua sean elementos de restricción cruciales en las áreas de vida acuática. La temperatura, al igual que el nivel de oxígeno, también se reduce con la profundidad. Normalmente, las reservas de nutrientes resultan satisfactorias en los sistemas de agua dulce. No obstante, en el mar abierto los nutrientes suelen ser escasos. Son un elemento esencial que restringe la productividad en las áreas de vida acuática.

El fósforo constituye el nutriente más restrictivo en las áreas de vida de agua dulce, en cambio, el nitrógeno es el nutriente más restrictivo en las áreas de vida de agua salada. El anhelo de los individuos de residir cerca de la costa ha ocasionado el deterioro de las áreas de vida acuática. Actualmente, aproximadamente dos tercios de la población global habita cerca de las costas. El objetivo de las personas ha sido secar humedales y otras zonas costeras, es obtener más espacio para el crecimiento urbano (CALBERT, 2015). Ahora, la mayoría de las reservas de agua están gravemente contaminadas debido a que hemos estado depositando aguas residuales en ellas durante un largo periodo, antes de percatarnos de que esto resulta extremadamente dañino para la calidad del agua. Las áreas de vida costera son especialmente susceptibles a la contaminación dañina, ya que constituyen un depósito de pesticidas, metales pesados y otros contaminantes, que rápidamente se acumularán hasta llegar a altos niveles. En la actualidad, el agua de escorrentía proveniente de las plantas de tratamiento de desechos y otros sistemas de tratamiento de aguas está poniendo en peligro todas las áreas de vida acuática y estamos tratando de solucionar este problema con todas nuestras capacidades (BELCHER, 2016).

Composición química.

El agua superficial posee disueltas una serie de sales, entre las que podemos citar: carbonatos, sulfatos, nitratos, nitritos, etc., las mismas que llegan a ella por filtración desde la superficie o por disolución de las rocas aledañas que poseen estos componentes. Esto se

denomina contaminación del agua y la naturaleza de esta contaminación depende de las características del territorio sobre el cual se forman las nubes, así como las del lugar donde se precipiten las lluvias. El agua de lluvia que cae a las aguas superficiales en zonas remotas a los centros industriales o las ciudades, poseen pequeñas cantidades de sales, gases, ácidos o partículas sólidas contaminantes. La cantidad de estas sustancias en las aguas que caen cerca de las ciudades y centros industriales es relativamente grande (BLUMBERG, 2017). Del agua que cae sobre la corteza terrestre, aproximadamente una tercera parte fluye nuevamente a los océanos, por los cauces fluviales superficiales, mientras que el doble de este volumen se evapora o es absorbido por el suelo para reaparecer posteriormente en manantiales o pozos o llegar eventualmente al océano por corrientes subterráneas. De esta manera la lluvia disuelve los minerales y metales del suelo al entrar en contacto con ellos. La acción disolvente del agua sobre las sustancias minerales se incrementa notablemente por la presencia de gases disueltos en ella.

Los gases disueltos más importantes contenidos en el agua son el dióxido de carbono y el oxígeno. La atmósfera contiene aproximadamente 0,04% de dióxido de carbono, y como este gas se solubiliza rápidamente en el agua, una apreciable cantidad de este gas se disuelve cuando cae la lluvia (CALBERT, 2015).

La composición química del agua refleja ampliamente la naturaleza del territorio geológico del cual ha sido obtenida. Se obtiene agua dura de áreas donde abunda la piedra caliza (carbonato de calcio) o yeso (sulfato de calcio), agua alcalina donde existen depósitos alcalinos y así sucesivamente acontece con un extenso grupo de sustancias minerales o metálicas. Además de los constituyentes que se disuelven en el agua, muchas aguas superficiales contienen otros componentes considerados peligrosos para la salud, como son los metales pesados y sus compuestos, los cuales llegan a las aguas por descarga de los residuos industriales en ellas.

Características físicas y químicas.

El agua superficial es una sustancia de color blanco, sin color e inodora. Es un compuesto químico descrito por la fórmula H_2O , que señala que se trata de la mezcla de dos volúmenes de hidrógeno y un volumen de oxígeno respectivamente. No obstante, el agua químicamente pura es un líquido sumamente raro y complicado de conseguir, precisamente porque es un disolvente casi universal y en el que casi todas las sustancias pueden ser solubles hasta un cierto nivel. Por esta característica, el agua suele ser contaminada por las sustancias con las que interactúa.

En virtud de la alta solubilidad de las sales sódicas en las aguas, éstas generalmente no son objetables, salvo se encuentren en grandes cantidades. Las formas en que el sodio se encuentra en las aguas subterráneas son cloruro de sodio, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio, hidróxido de sodio, sulfato de sodio y nitrato de sodio (CALBERT, 2015).

Frente a todo lo expuesto, en este estudio se plantea los siguientes problemas de investigación:

Problema general.

¿La contaminación de los efluentes líquidos de mina producen impacto en el sistema acuático superficial en la zona de Otonaga-Ayacucho-2021?

Problemas específicos.

¿Cuál es el nivel de contaminación de los efluentes líquidos de mina de la zona de Otonaga – Ayacucho - 2021?

¿Cuál es el nivel de contaminación de las muestras de “Aguas abajo” del sistema acuático superficial en la zona de Otonaga-Ayacucho-2021?

¿Qué impacto producen los efluentes líquidos de mina en las muestras de “Aguas abajo” del sistema acuático superficial en la zona de Otonaga-Ayacucho-2021?

Las preguntas de investigación exigieron plantear los siguientes objetivos de la investigación:

Objetivo general.

Hallar el impacto producido por contaminación de los efluentes líquidos de mina en el sistema acuático superficial en la zona de Otonaga-Ayacucho-2021.

Objetivos específicos.

Hallar el nivel de contaminación de los efluentes líquidos de mina de la zona de Otonaga – Ayacucho – 2021.

Hallar el nivel de contaminación de las muestras de “Aguas abajo” del sistema acuático superficial en la zona de Otonaga-Ayacucho-2021.

Hallar el impacto producido por los efluentes líquidos de mina en las muestras de “Aguas abajo” del sistema superficial en la zona de Otonaga-Ayacucho-2021.

A partir de los objetivos planteados se formuló las siguientes hipótesis de estudio:

La contaminación de los efluentes líquidos de mina produce impacto en el sistema acuático superficial en la zona de Otonaga-Ayacucho-2021.

El estudio evaluó las siguientes variables

Parámetros físico-químicos

- Conductividad eléctrica
- Dureza
- pH
- Sólidos totales disueltos
- Turbidez

Formas nitrogenadas

- Amoníaco

Aniones

- Clorito
- Cloruro
- Fluoruro
- Nitrato
- Nitrito
- Sulfato

Metales pesados

- Aluminio
- Arsénico
- Bario
- Boro
- Cobre
- Hierro
- Manganeso
- Sodio
- Zinc

II. ESTRATEGÍA METODOLÓGICA

2.1. Metodología de la investigación

Tipo de investigación.

Según Hernández et al. (16), el tipo de investigación varía dependiendo del enfoque que se utilice, ya que su objetivo primordial se centra en descubrir teorías que puedan ser implementadas en la población de estudio.

Nivel de investigación

El enfoque de esta investigación es descriptivo - correlacional, ya que los objetivos particulares buscan determinar la envergadura de las variables relacionadas con el problema en cuestión, mientras que el objetivo general busca analizar una correlación entre estas variables. (17).

Diseño de estudio.

El diseño que se utilizó para este estudio fue longitudinal, es decir, se evaluó las variables se evaluaron en dos oportunidades (17).

2.2. Población y muestra

Población de estudio

La población del presente proyecto estuvo conformada por los efluentes líquidos de mina de las minas subterráneas y las aguas superficiales localizadas al sur del Perú.

Tamaño de la Muestra

La muestra estuvo constituida por tres repeticiones de muestras de los efluentes líquidos de mina y las aguas superficiales (aguas abajo) de la zona de Otoa, provincia de Lucanas, región Ayacucho.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de la información

La recolección de las muestras de los efluentes y de las aguas abajo superficiales de la zona se realizó mediante la técnica de muestreo no aleatorio por conveniencia.

2.4. Análisis de los resultados

Se procesaron los datos empleando las aplicaciones Excel y SPSS versión 26 en español.

En un principio, se estableció una base de datos en Excel, que posteriormente se trasladó a SPSS para su análisis. Se crearon tablas de distribución de frecuencias para detallar la muestra del análisis y se elaboraron tablas de contingencia para sintetizar y examinar los datos, mostrando la correlación entre las variables fundamentales del estudio. Se obtuvieron estadísticos descriptivos utilizando el test no paramétrico de Krus-kal-wallis para contrastar las variables cuantitativas.

III. RESULTADOS

3.1. Nivel de contaminación de los efluentes líquidos de mina de la zona de Otoncha – Ayacucho, 2021

Tabla 01. Parámetros Físico – Químicos de los efluentes

	N	Mínimo	Máximo	Media
Conductividad eléctrica - Efluente	3	1348,00	1352,00	1350,00
Dureza - Efluente	3	448,00	452,00	450,00
pH - Efluente	3	5,10	5,14	5,12
Sólidos totales disueltos - Efluente	3	1014,00	1018,00	1016,00
Turbidez - Efluente	3	2,88	2,92	2,90

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Los resultados muestran que los efluentes presentan **elevada conductividad, dureza y sólidos disueltos**, lo que indica una alta carga mineral, posiblemente relacionada con la actividad minera. Además, el **pH ácido** sugiere un impacto ambiental potencialmente negativo en las aguas receptoras. Aunque la **turbidez es baja**, otros contaminantes disueltos pueden afectar la calidad del agua y el ecosistema acuático. Es necesario implementar estrategias de tratamiento para reducir la acidez y la carga mineral antes de la descarga de estos efluentes al medio ambiente.

Tabla 02. Aniones

	N	Mínimo	Máximo	Media
Clorito - Efluente	3	,240	,280	,26000
Cloruro - Efluente	3	41,000	45,000	43,00000
Fluoruro - Efluente	3	,210	,250	,23000
Nitrato - Efluente	3	11,000	15,000	13,00000
Nitrito - Efluente	3	,237	,241	,23900
Sulfato - Efluente	3	497,000	501,000	499,00000

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Los valores obtenidos muestran que la mayoría de los aniones analizados se encuentran dentro de los límites permisibles, sin representar un riesgo inmediato para la calidad del agua. Sin embargo, la concentración de **sulfatos es considerablemente alta**, lo que sugiere un impacto relevante en

el ecosistema acuático, posiblemente asociado a la lixiviación de minerales en la actividad minera. Se recomienda un monitoreo constante y la implementación de estrategias de control para mitigar la acumulación de sulfatos en el agua.

Tabla 03. Metales totales

	N	Mínimo	Máximo	Media
Aluminio - Efluente	3	1,120	1,160	1,14000
Arsénico Total - Efluente	3	,001	,001	,00100
Bario Total - Efluente	3	,011	,090	,03800
Boro Total - Efluente	3	,311	,315	,31300
Cobre Total - Efluente	3	15,110	15,900	15,57000
Manganeso total - Efluente	3	7,130	7,170	7,15000
Sodio Total - Efluente	3	53,000	56,000	54,33333
Zinc Total - Efluente	3	6,360	6,400	6,38000

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Los resultados indican que los metales **aluminio, cobre, manganeso y zinc superan significativamente los límites permisibles**, lo que evidencia un **impacto ambiental negativo** en el ecosistema acuático. La presencia elevada de estos metales puede generar toxicidad en organismos acuáticos y alterar la calidad del agua. Se recomienda la implementación de tecnologías de tratamiento de efluentes para reducir la concentración de estos metales y mitigar los impactos ambientales en la zona evaluada.

3.2. Nivel de contaminación del sistema acuático superficial de mina de la zona Otonca – Ayacucho, 2021

Tabla 04. Aguas abajo – Parámetros físico – Químicos.

	N	Mínimo	Máximo	Media
Conductividad eléctrica - Aguas abajo	3	715,000	719,000	717,00000
Dureza - Aguas abajo	3	241,000	245,000	243,00000
Ph - Aguas abajo	3	7,748	7,752	7,75000
Sólidos totales disueltos - Aguas abajo	3	451,000	455,000	453,00000
Turbidez - Aguas abajo	3	3,898	3,902	3,90000

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Los resultados obtenidos indican que los parámetros fisicoquímicos del ecosistema acuático superficial aguas abajo presentan valores dentro de los límites permisibles según la normativa ambiental vigente en Perú. La **conductividad eléctrica, dureza, pH, sólidos totales disueltos y turbidez** muestran niveles adecuados, lo que sugiere que el impacto de los efluentes en esta zona no ha generado alteraciones significativas en estos parámetros. Sin embargo, es fundamental mantener un monitoreo continuo para evaluar posibles variaciones a largo plazo y garantizar la sostenibilidad del ecosistema acuático.

Tabla 05. Aguas abajo – Aniones

	N	Mínimo	Máximo	Media
Clorito - Aguas abajo	3	,288	,292	,29000
Cloruro - Aguas abajo	3	46,000	50,000	48,00000
Fluoruro - Aguas abajo	3	,218	,222	,22000
Nitrato - Aguas abajo	3	2,098	2,102	2,10000
Nitrito - Aguas abajo	3	,254	,258	,25600
Sulfato - Aguas abajo	3	161,000	165,000	163,00000

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Los resultados obtenidos indican que las concentraciones de **clorito, cloruro, fluoruro, nitrato, nitrito y sulfato** en el ecosistema acuático superficial aguas abajo se encuentran dentro de los

límites permisibles según la normativa ambiental vigente en Perú. Esto sugiere que, en términos de aniones, el impacto de los efluentes mineros no ha generado alteraciones significativas en la calidad del agua en esta zona. Sin embargo, se recomienda un monitoreo continuo para detectar posibles variaciones a largo plazo y prevenir acumulaciones que puedan afectar la estabilidad del ecosistema acuático.

Tabla 06. Aguas abajo – Metales totales

	N	Mínimo	Máximo	Media
Aluminio - Aguas abajo	3	,437	,441	,43900
Arsénico total - Aguas abajo	3	,001	,005	,00300
Bario total - Aguas abajo	3	,001	,005	,00300
Boro_ total - Aguas abajo	3	,374	,378	,37600
Cadmio total - Aguas abajo	3	,011	,015	,01287
Cobre total - Aguas abajo	3	1,508	1,512	1,51000
Sodio total - Aguas abajo	3	38,000	42,000	40,00000
Zinc total - Aguas abajo	3	,541	,545	,54300

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Los resultados obtenidos indican que las concentraciones de **aluminio, cadmio, cobre y zinc** en las aguas superficiales aguas abajo superan los límites permisibles según la normativa ambiental vigente en Perú, lo que sugiere una **afectación al ecosistema acuático** debido a la presencia de metales pesados. Aunque los valores de **arsénico, bario, boro y sodio** se encuentran dentro de los rangos permitidos, la persistencia de metales con concentraciones elevadas podría representar un riesgo para la calidad del agua y la biota acuática a largo plazo. Se recomienda implementar medidas de mitigación y monitoreo continuo para evaluar la evolución de estos contaminantes y minimizar su impacto ambiental.

3.3. Impacto producido por los efluentes líquidos en el sistema acuático superficial

Impacto de los efluentes químicos en los parámetros físicos-químicos.

Tabla 7. Conductividad eléctrica entre Fuentes

Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes	
N total	10
Estadístico de prueba	8,018 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 1. Conductividad eléctrica entre Fuentes

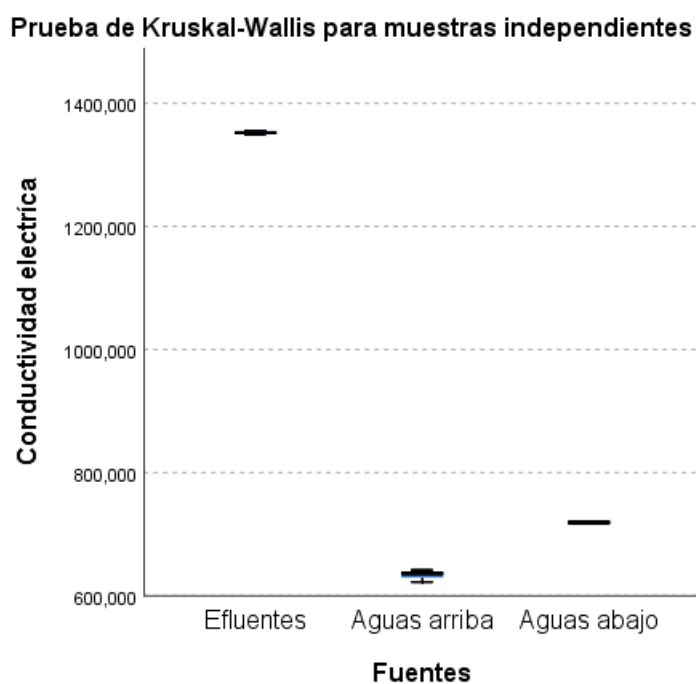


Tabla 8. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba - Aguas abajo	-3,000	2,472	-1,214	,225

Efluentes - Aguas arriba	6,500	2,312	2,811	,005
Efluentes - Aguas abajo	3,500	2,312	1,514	,130

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 9. Dureza entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	8,067 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Datos de la recolección de la muestra

Figura 02. Dureza entre Fuentes

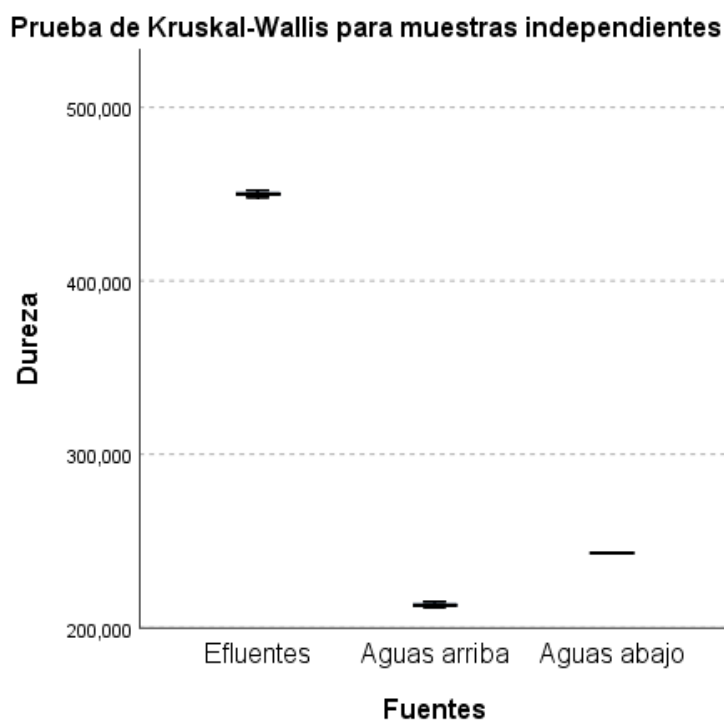


Tabla 10. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba-Aguas abajo	-3,000	2,465	-1,217	,224
Aguas arriba-Efluentes	6,500	2,305	2,819	,005
Aguas abajo-Efluentes	3,500	2,305	1,518	,129

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 11. pH entre fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	8,018 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 03. pH entre fuentes

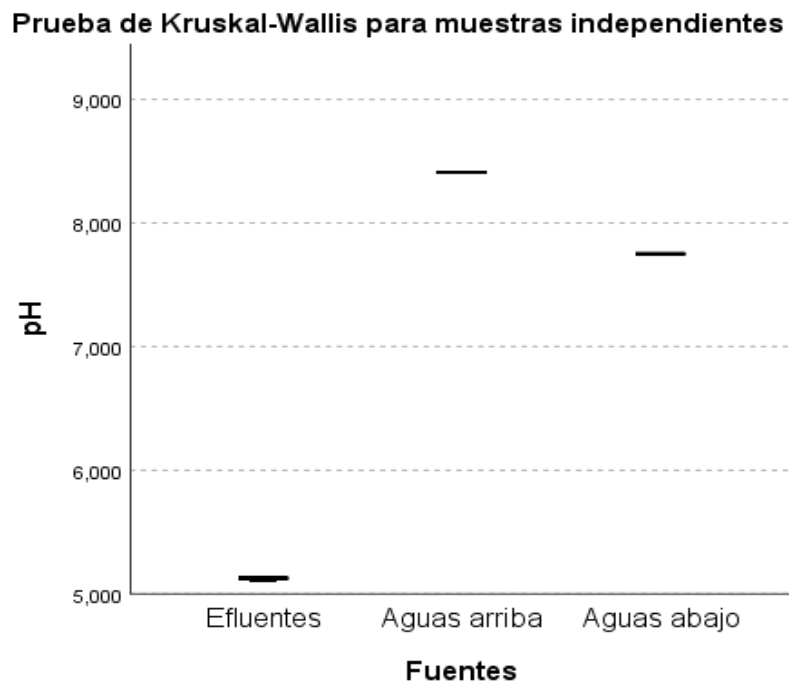


Tabla 12. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Efluentes-Aguas abajo	-3,500	2,312	-1,514	,130
Efluentes-Aguas arriba	-6,500	2,312	-2,811	,005
Aguas abajo-Aguas arriba	3,000	2,472	1,214	,225

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 13. Sólidos totales entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	8,018 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 04. Sólidos totales entre Fuentes

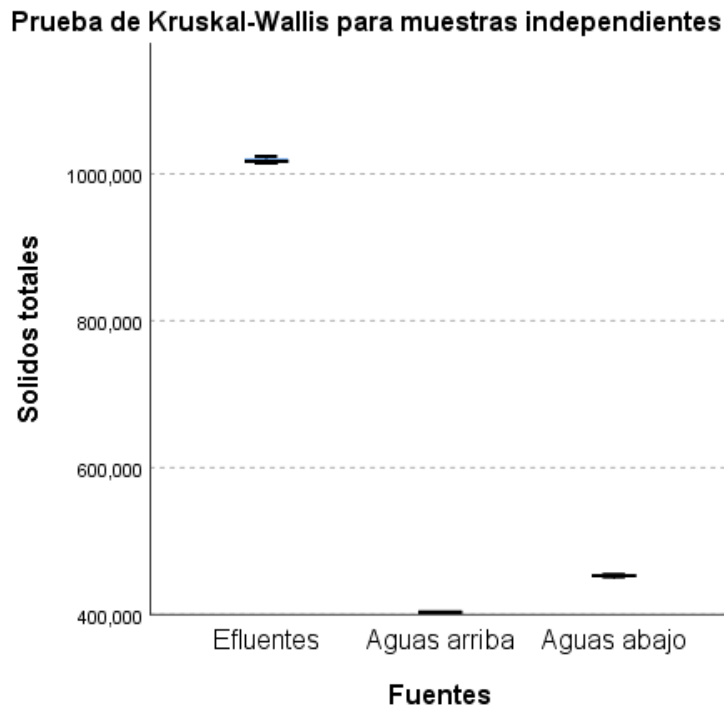


Tabla 14. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba-Aguas abajo	-3,000	2,472	-1,214	,225
Aguas arriba-Efluentes	6,500	2,312	2,811	,005
Aguas abajo-Efluentes	3,500	2,312	1,514	,130

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 15. Turbidez entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	8,018 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 05. Turbidez entre Fuentes

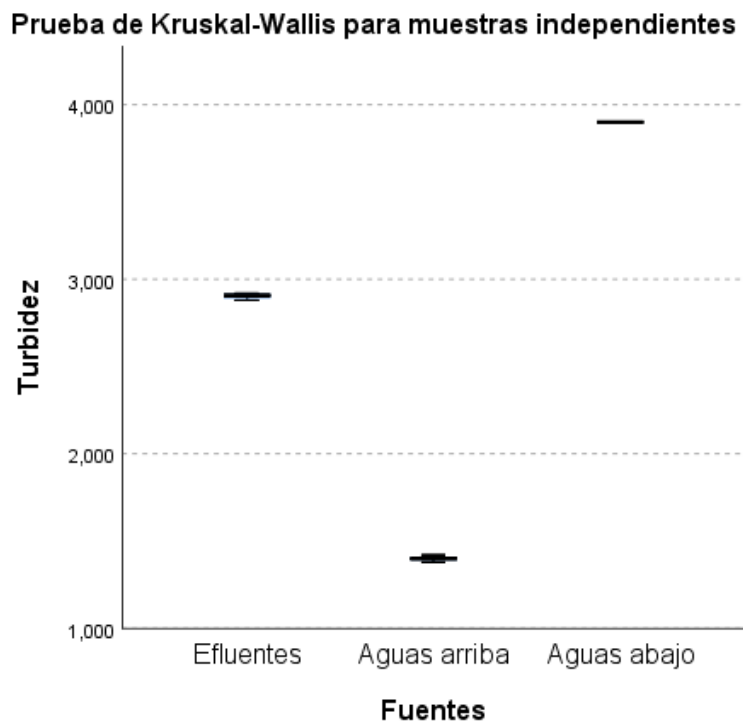


Tabla 16. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba-Efluentes	3,500	2,312	1,514	,130
Aguas arriba-Aguas abajo	-7,000	2,472	-2,832	,005
Efluentes-Aguas abajo	-3,500	2,312	-1,514	,130

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Impacto de los efluentes químicos en el nivel de aniones.

Tabla 17. Clorito entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	8,018 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 06. Clorito entre Fuentes

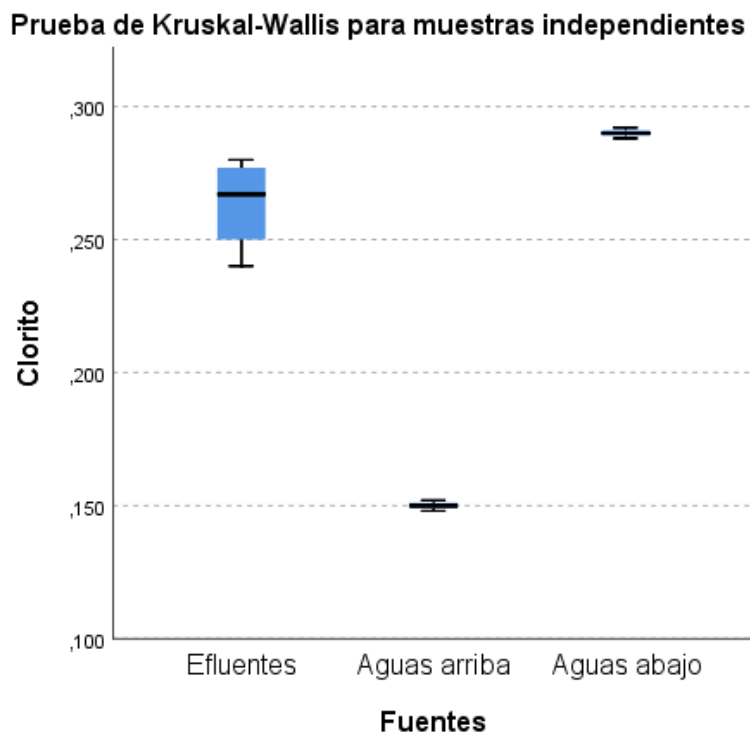


Tabla 18. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba-Efluentes	3,500	2,312	1,514	,130
Aguas arriba-Aguas abajo	-7,000	2,472	-2,832	,005
Efluentes-Aguas abajo	-3,500	2,312	-1,514	,130

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 19. Cloruro entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	7,756 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,021

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 07. Cloruro entre Fuentes

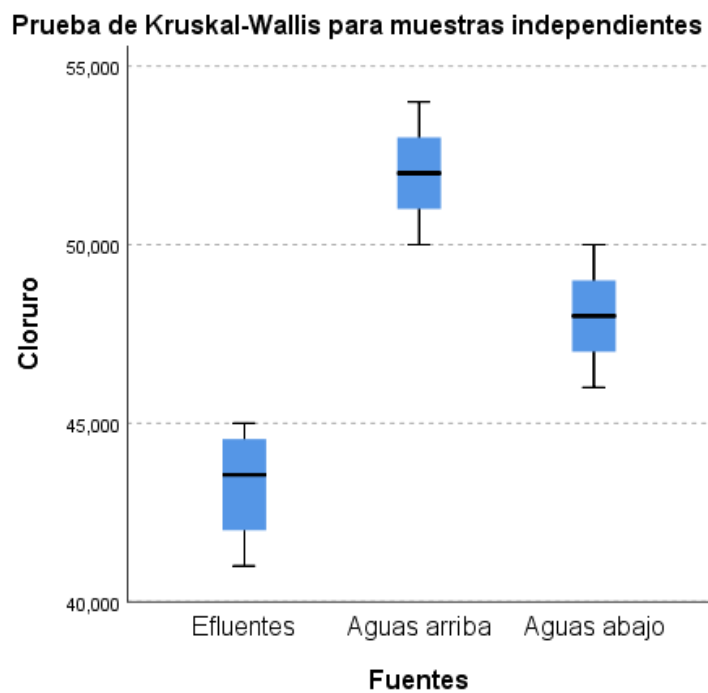


Tabla 20. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Efluentes-Aguas abajo	-3,667	2,305	-1,590	,112
Efluentes-Aguas arriba	-6,333	2,305	-2,747	,006
Aguas abajo-Aguas arriba	2,667	2,465	1,082	,279

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 21. Fluoruro entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	6,300 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,043

a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

Figura 08. Fluoruro entre Fuentes

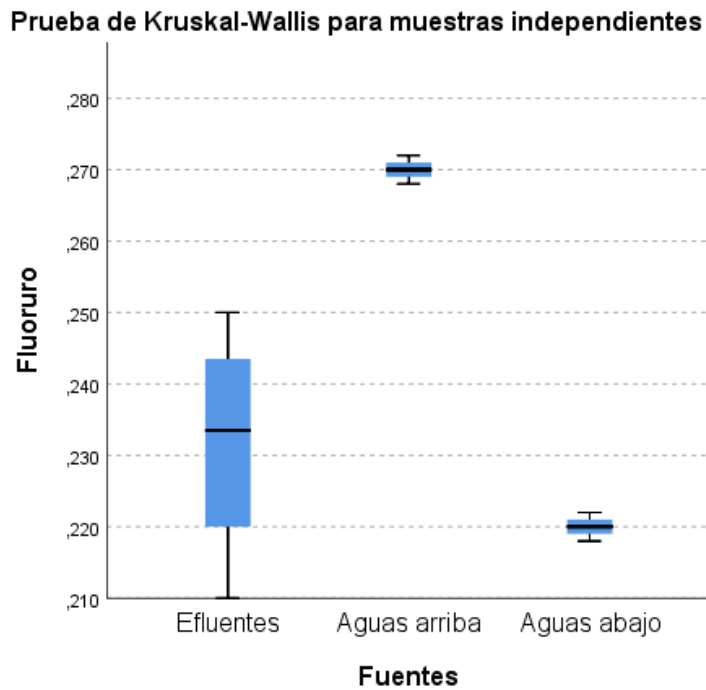


Tabla 22. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas abajo-Efluentes	1,750	2,312	,757	,449
Aguas abajo-Aguas arriba	6,000	2,472	2,427	,015
Efluentes-Aguas arriba	-4,250	2,312	-1,838	,066

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 23. Nitrato entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	8,018 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 09. Nitrato entre Fuentes

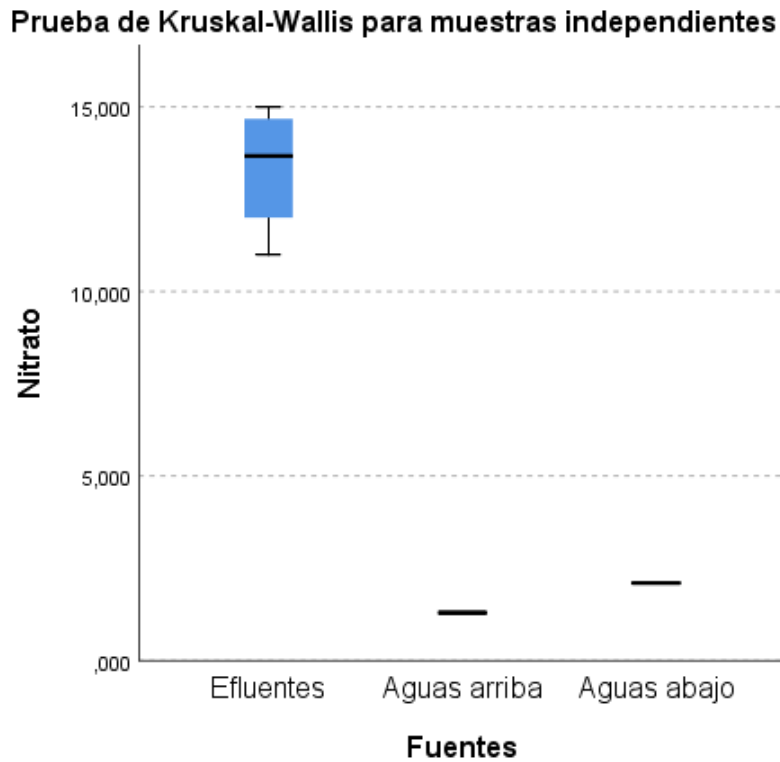


Tabla 24. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba-Aguas abajo	-3,000	2,472	-1,214	,225
Aguas arriba-Efluentes	6,500	2,312	2,811	,005
Aguas abajo-Efluentes	3,500	2,312	1,514	,130

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 25. Nitrito entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	8,018 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 10. Nitrito entre Fuentes

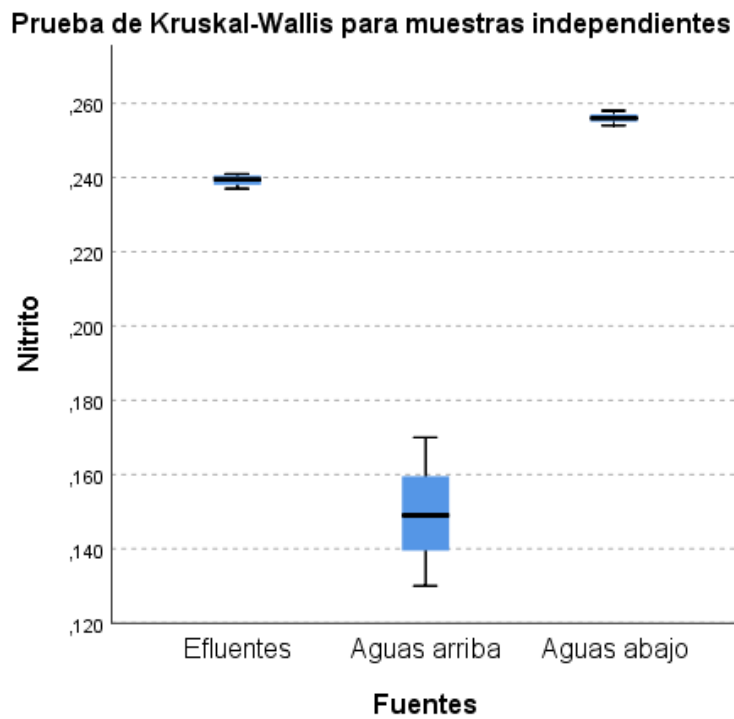


Tabla 26. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba-Efluentes	3,500	2,312	1,514	,130
Aguas arriba-Aguas abajo	-7,000	2,472	-2,832	,005
Efluentes-Aguas abajo	-3,500	2,312	-1,514	,130

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 27. Sulfato entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	8,018 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 11. Sulfato entre Fuentes

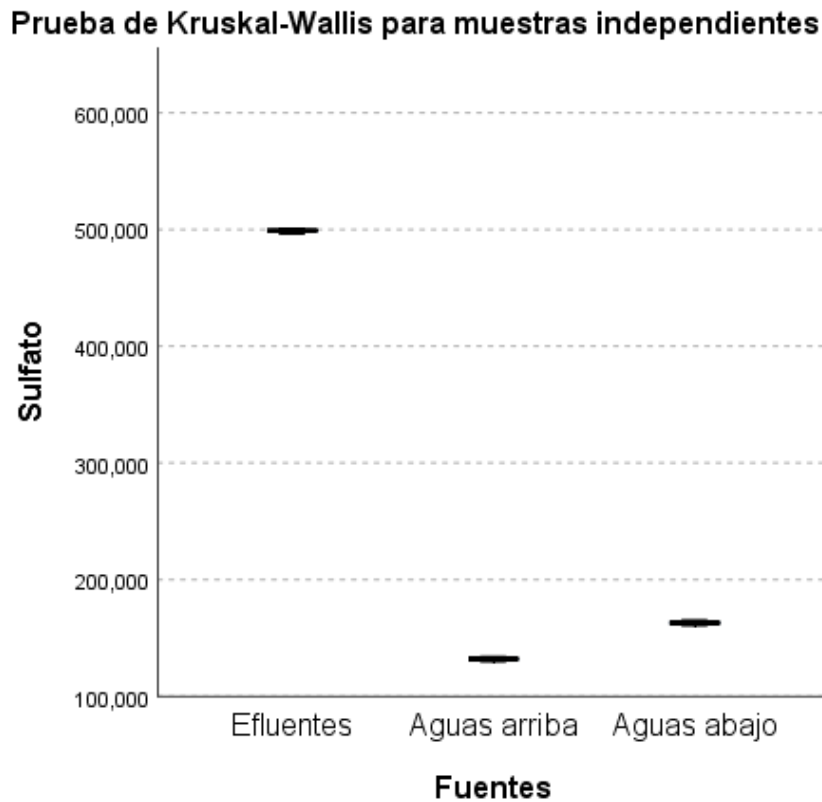


Tabla 28. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba-Aguas abajo	-3,000	2,472	-1,214	,225
Aguas arriba-Efluentes	6,500	2,312	2,811	,005
Aguas abajo-Efluentes	3,500	2,312	1,514	,130

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Impacto de los efluentes químicos en el nivel de metales totales.

Tabla 29. Aluminio entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	8,018 ^{a,b}
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 12. Aluminio entre Fuentes

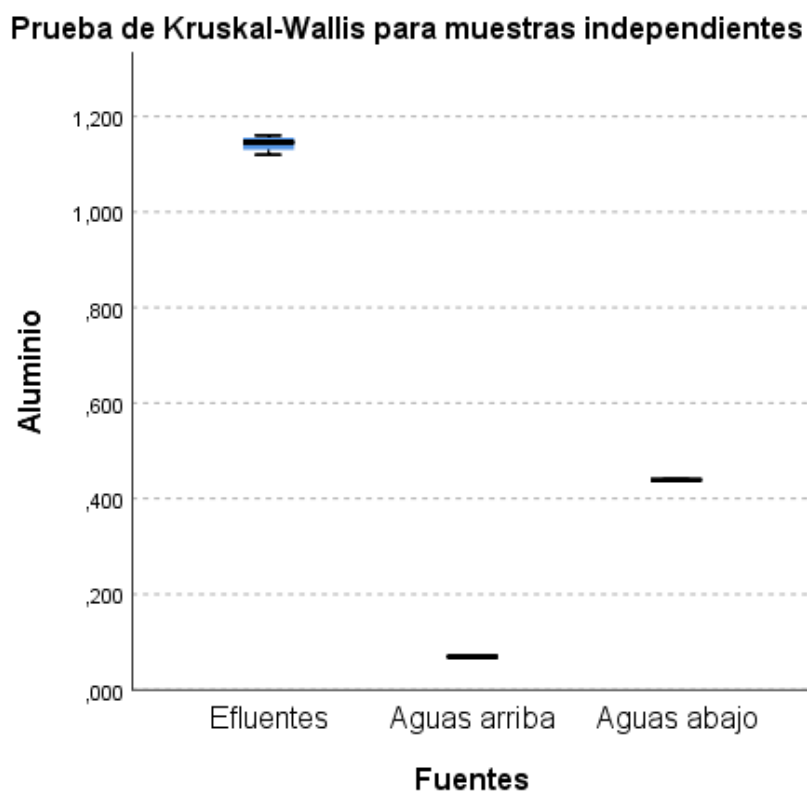


Tabla 30. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba-Aguas abajo	-3,000	2,472	-1,214	,225
Aguas arriba-Efluentes	6,500	2,312	2,811	,005
Aguas abajo-Efluentes	3,500	2,312	1,514	,130

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 31. Boro total entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	6,709a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,035

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 15. Boro total entre Fuentes

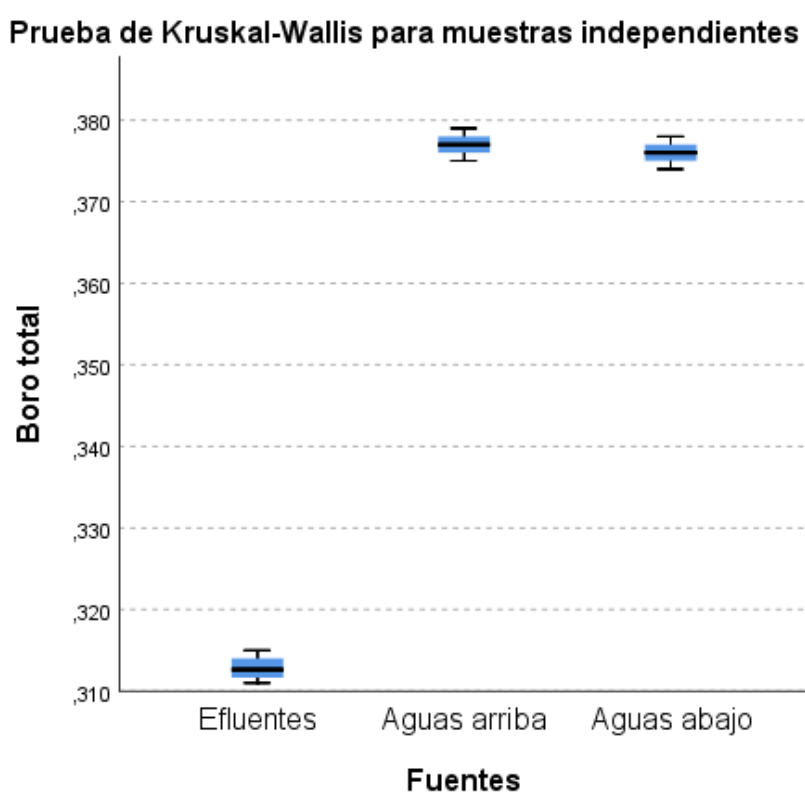


Tabla 32. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Efluentes-Aguas abajo	-4,500	2,312	-1,946	,052
Efluentes-Aguas arriba	-5,500	2,312	-2,378	,017
Aguas abajo-Aguas arriba	1,000	2,472	,405	,686

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 33. Cobre total entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	8,018 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 16. Cobre total entre Fuentes

Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes

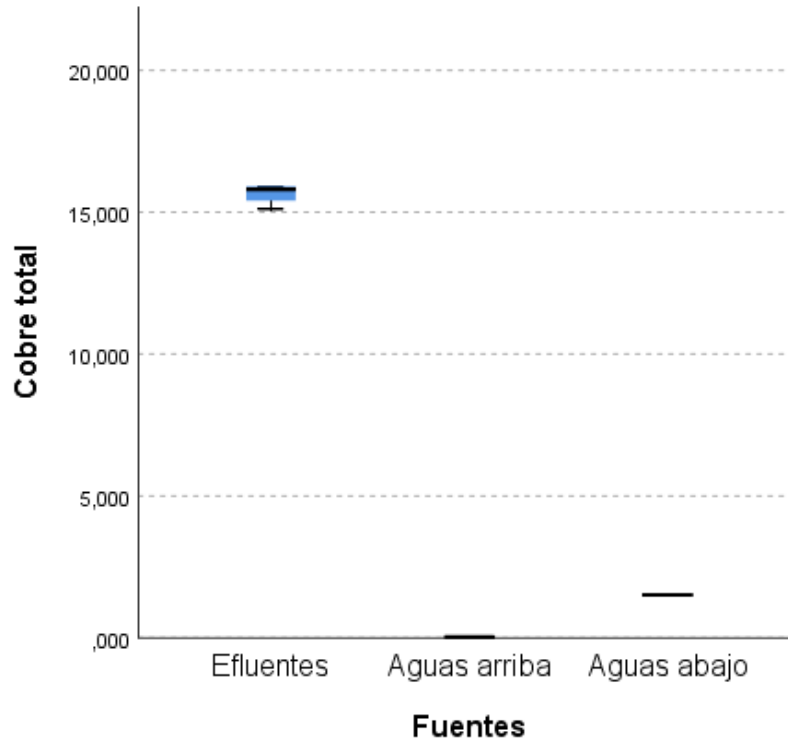


Tabla 34. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba-Aguas abajo	-3,000	2,472	-1,214	,225
Aguas arriba-Efluentes	6,500	2,312	2,811	,005
Aguas abajo-Efluentes	3,500	2,312	1,514	,130

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 35. Manganeso total entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	8,018 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 17. Manganeso total entre Fuentes

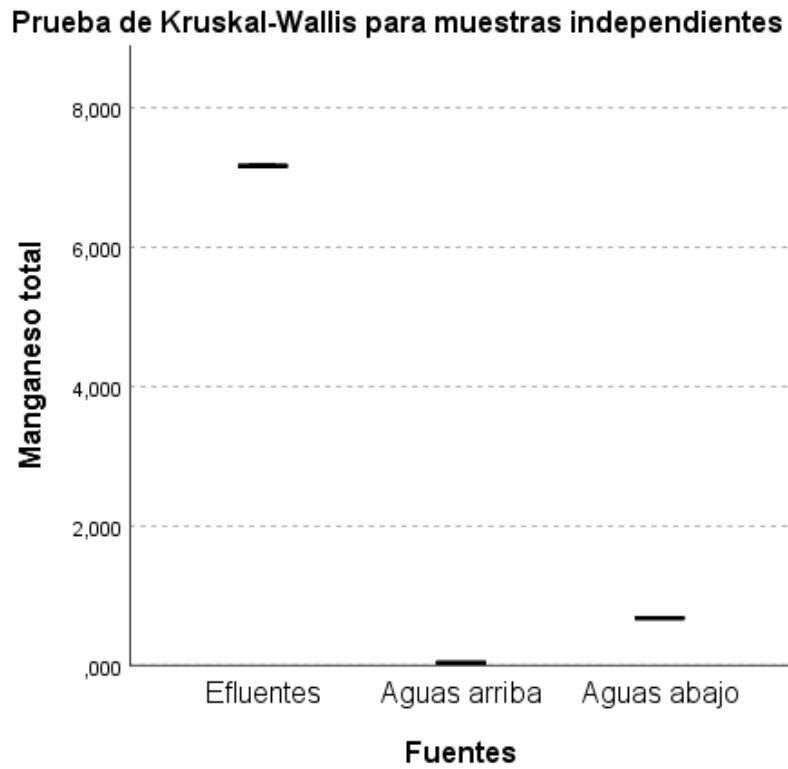


Tabla 36. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba-Aguas abajo	-3,000	2,472	-1,214	,225
Aguas arriba-Efluentes	6,500	2,312	2,811	,005
Aguas abajo-Efluentes	3,500	2,312	1,514	,130

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 37. Sodio total entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	7,086 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,029

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 18. Sodio total entre Fuentes

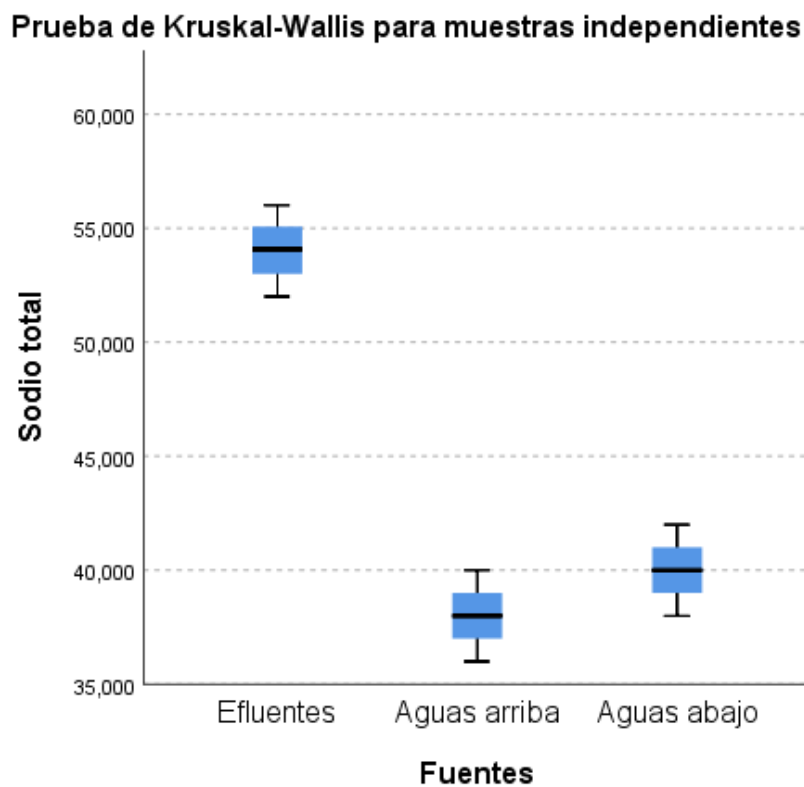


Tabla 38. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba-Aguas abajo	-1,667	2,457	-,678	,498
Aguas arriba-Efluentes	5,833	2,298	2,538	,011
Aguas abajo-Efluentes	4,167	2,298	1,813	,070

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Tabla 39. Zinc total entre Fuentes

N total	10
Estadístico de prueba	8,018 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,018

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

Figura 19. Zinc total entre Fuentes

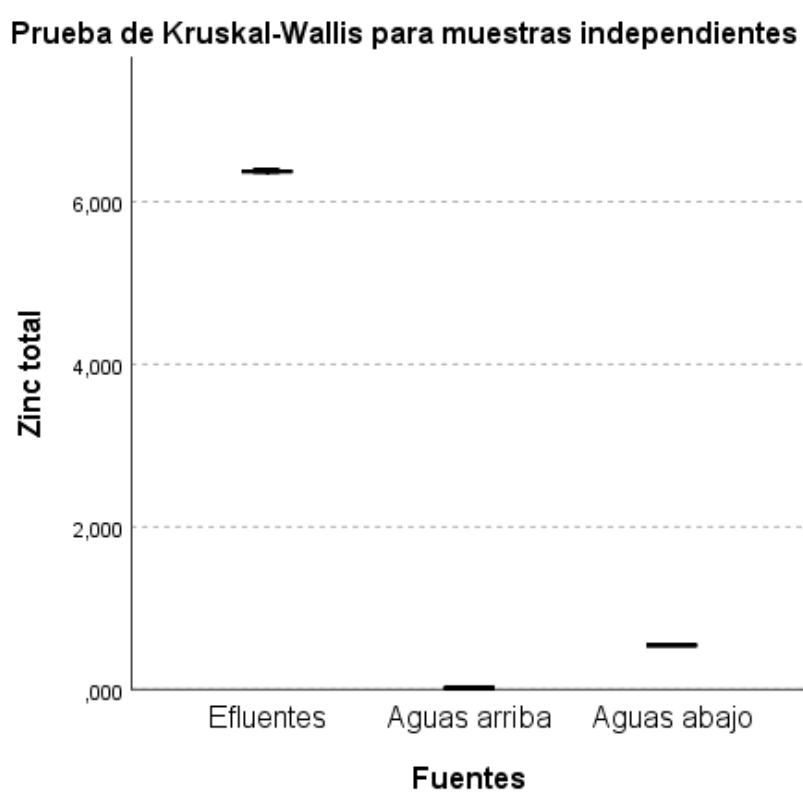


Tabla 40. Comparaciones por parejas de Fuentes

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.
Aguas arriba-Aguas abajo	-3,000	2,472	-1,214	,225
Aguas arriba-Efluentes	6,500	2,312	2,811	,005
Aguas abajo-Efluentes	3,500	2,312	1,514	,130

Fuente: Hoja de recolección de datos del trabajo de campo.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis de los efluentes de la zona de Otoa, ubicada en Ayacucho, revela varios aspectos críticos que requieren atención. Los parámetros físico-químicos evaluados incluyen conductividad eléctrica, dureza, pH, sólidos totales y turbidez. Los resultados obtenidos de la conductividad eléctrica igual a 1350 $\mu\text{S}/\text{cm}$; dureza: 450 mg/L; pH: 5.12; sólidos totales: 1016 mg/L y turbidez: 2.9 NTU, indican una conductividad eléctrica alta y una dureza significativa, lo que sugiere una elevada concentración de minerales disueltos en el agua, típicamente asociados con actividades mineras. El pH registrado (5.12) es notablemente ácido, situándose por debajo del rango neutral (6.0 - 9.0), lo cual puede tener implicaciones perjudiciales para los sistemas acuáticos y la calidad del agua para consumo humano y agrícola. Los sólidos totales (1016 mg/L) se encuentran dentro del rango normal, pero en el extremo superior, lo que indica una presencia considerable de materiales disueltos y suspendidos. Sin embargo, la turbidez medida (2.9 NTU) es relativamente baja, lo que sugiere que la mayoría de los sólidos están disueltos en lugar de suspendidos. Estos hallazgos preliminares sugieren que las operaciones mineras en Otoa están contribuyendo a la alteración de la calidad del agua, especialmente en términos de acidez y mineralización. Se recomienda realizar un monitoreo continuo y más detallado, además de implementar medidas de mitigación para reducir el impacto ambiental y proteger los recursos hídricos locales. Adicionalmente, se han detectado valores específicos para ciertos aniones: clorito (0.26 mg/L), cloruro (43 mg/L), fluoruro (0.23 mg/L), nitrato (13 mg/L), nitrito (0.239 mg/L) y sulfatos (499 mg/L). Estos valores indican una elevada concentración de minerales disueltos en el agua, típicamente asociados con actividades mineras. Los valores de clorito, nitrato y nitrito están dentro de los rangos normales, mientras que los cloruros y fluoruros están por debajo de los niveles esperados, y los sulfatos se encuentran en el extremo superior del rango normal. Se han detectado valores específicos para ciertos aniones y metales totales. Los resultados obtenidos para los metales son los siguientes: aluminio (1.14 mg/L), arsénico total (0.001 mg/L), bario total (0.313 mg/L), cobre total (15.57 mg/L), manganeso total (7.15 mg/L), sodio total (54.33 mg/L) y zinc total (6.38 mg/L). Estos valores indican lo siguiente: el aluminio (1.14 mg/L) y el cobre (15.57 mg/L) están significativamente por encima de los niveles normales (0.05 - 0.2 mg/L y 0.01 - 0.1 mg/L respectivamente), lo cual es alarmante debido a sus potenciales efectos tóxicos en el ambiente y la salud. El manganeso total (7.15 mg/L) y el zinc total (6.38 mg/L) también superan ampliamente los rangos normales (0.05 - 0.5 mg/L para manganeso y 0.1 - 2.0 mg/L para zinc), lo que sugiere una fuerte contaminación metálica. En contraste, el arsénico total (0.001 mg/L) y el bario total (0.313 mg/L) están dentro de los niveles aceptables, aunque el bario se encuentra en el rango superior. El sodio total (54.33 mg/L) se sitúa dentro de los valores normales (20 - 200 mg/L), indicando que no presenta un riesgo significativo en este contexto.

Los resultados obtenidos de la evaluación de los parámetros físico-químicos y de metales pesados en el sistema acuático superficial aguas abajo de la mina muestran que la mayoría de los valores se encuentran dentro de los límites aceptables según las normas ambientales vigentes en Perú. La conductividad eléctrica media fue de 717 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la dureza de 243 mg/L, el pH de 7,75, los sólidos totales disueltos de 453 mg/L y la turbidez de 3,9 NTU, todos dentro de los rangos permisibles. Los aniones analizados también mostraron concentraciones por debajo de los límites, con valores de clorito de 0,29 mg/L, cloruro de 48 mg/L, fluoruro de 0,22 mg/L, nitrato de 2,1 mg/L, nitrito de 0,256 mg/L y sulfato de 163 mg/L. Sin embargo, los análisis de metales pesados revelaron que el aluminio total (0,439 mg/L), el cadmio total (0,012 mg/L) y el zinc total (0,543 mg/L) superan los niveles recomendados, indicando un posible riesgo de contaminación y afectación al sistema acuático. En contraste, el arsénico total (0,003 mg/L), el bario total (0,003 mg/L), el boro total (0,376 mg/L), el cobre total (1,51 mg/L) y el sodio total (40 mg/L) se encuentran dentro de los límites aceptables. Estos resultados sugieren que, si bien la mayoría de los parámetros se mantienen dentro de los rangos permisibles, la presencia elevada de ciertos metales pesados, como el aluminio, cadmio y zinc, podría representar un riesgo potencial para la biota acuática y la salud del ecosistema, siendo necesaria una evaluación continua y medidas de mitigación para asegurar la calidad del agua en el área evaluada.

Los resultados de la evaluación del impacto de los efluentes en las aguas superficiales, con un valor de significancia de 0,018 al comparar los promedios de los parámetros físico-químicos mediante las pruebas de Kruskal-Wallis, indican una diferencia estadísticamente significativa en la calidad del agua. Esto sugiere que los efluentes de la mina están afectando notablemente la conductividad eléctrica, dureza, pH, sólidos totales disueltos y turbidez del agua superficial, lo que resalta la necesidad de medidas de control y mitigación para proteger el sistema acuático. Los resultados de la evaluación del impacto de los efluentes en la presencia de aniones en las aguas superficiales muestran valores de significancia de 0,018 para clorito, nitrato, nitrito y sulfato, 0,021 para cloruro, y 0,043 para fluoruro. Estos valores, todos menores a 0,05, indican diferencias estadísticamente significativas en la concentración de estos aniones entre las muestras analizadas. Esto sugiere que los efluentes de la mina están afectando significativamente las concentraciones de estos aniones en el agua superficial, lo que podría tener implicaciones importantes para la calidad del agua y el estado del sistema acuático en la zona evaluada. Se recomienda un monitoreo continuo y la implementación de medidas de mitigación para gestionar estos impactos.

Los resultados de la evaluación del impacto de los efluentes en la presencia de metales pesados en las aguas superficiales muestran valores de significancia de 0,018 para aluminio, cobre y zinc, 0,035 para boro, 0,029 para sodio, y 0,08 para manganeso. Excepto el manganeso, estos valores, todos menores a 0,05, indican diferencias estadísticamente significativas en la concentración de

estos metales entre las muestras analizadas. Esto sugiere que los efluentes de la mina están afectando significativamente las concentraciones de aluminio, boro, cobre, sodio y zinc en el agua superficial. Por lo tanto, es esencial implementar medidas de control y mitigación para gestionar estos impactos y proteger la calidad del sistema acuático en la zona evaluada.

V. CONCLUSIONES

1. El análisis de los efluentes de la zona de Otoa en Ayacucho muestra una alta conductividad eléctrica (1350 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dureza (450 mg/L) y acidez (pH 5.12), junto con niveles elevados de sólidos totales (1016 mg/L) y sulfatos (499 mg/L). La baja turbidez (2.9 NTU) indica que la mayoría de los sólidos están disueltos. Los aniones como clorito, nitrato y nitrito están dentro de los rangos normales, mientras que los cloruros y fluoruros están bajos. Estos resultados sugieren una significativa alteración de la calidad del agua debido a las actividades mineras, recomendándose un monitoreo continuo y medidas de mitigación.
2. Los resultados muestran que la mayoría de los parámetros físico-químicos y aniones en el sistema acuático superficial aguas abajo de la mina se encuentran dentro de los límites permisibles, sugiriendo una calidad del agua aceptable en términos generales. Sin embargo, los niveles elevados de aluminio (0,439 mg/L), cadmio (0,012 mg/L) y zinc (0,543 mg/L) superan los valores recomendados, indicando un posible riesgo de contaminación. Estos metales pesados representan un potencial peligro para la biota acuática y la salud del ecosistema, resaltando la necesidad de monitoreo continuo y acciones de mitigación específicas para asegurar la calidad del agua.
3. Los análisis realizados indican que los efluentes de la mina están afectando significativamente la calidad del agua superficial en términos de parámetros físico-químicos, aniones y metales pesados. La conductividad eléctrica, dureza, pH, sólidos totales disueltos y turbidez muestran diferencias estadísticamente significativas, al igual que las concentraciones de clorito, cloruro, fluoruro, nitrato, nitrito y sulfato. Además, los niveles de aluminio, boro, cobre, sodio y zinc también presentan significancia estadística, destacando el impacto negativo de los efluentes. Estos resultados subrayan la necesidad urgente de monitoreo continuo y la implementación de medidas de mitigación para proteger y mejorar la calidad del sistema acuático en la zona afectada.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación de Sistemas de Tratamiento de Efluentes: Dado que se encontraron niveles elevados de aluminio, cadmio y zinc en el agua superficial, se recomienda la instalación de sistemas de tratamiento de efluentes más avanzados en la mina para reducir la concentración de estos metales pesados antes de su descarga al medio ambiente. Tecnologías como la precipitación química, adsorción y filtración pueden ser efectivas para este propósito.
2. Se recomienda monitoreo continuo y evaluación regular para garantizar la protección continua del ecosistema acuático, es esencial establecer un programa de monitoreo continuo de los parámetros físico-químicos, aniones y metales pesados en las aguas superficiales. Esto permitirá detectar cualquier cambio en la calidad del agua y tomar medidas correctivas oportunas. Además, se recomienda realizar evaluaciones periódicas para verificar la eficacia de las medidas de mitigación implementadas.
3. Se recomienda el desarrollo de Programas de Restauración Ecológica: considerando el impacto significativo de los efluentes en la calidad del agua, es importante desarrollar e implementar programas de restauración ecológica en las áreas afectadas. Estos programas pueden incluir la revegetación de zonas ribereñas, la creación de zonas de amortiguamiento y la promoción de prácticas de manejo sostenible en la cuenca hidrográfica. La restauración del hábitat acuático puede ayudar a mitigar los efectos negativos de la contaminación y mejorar la salud general del ecosistema.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANON, A. (2016). *Causas de la Contaminación de las aguas Subterráneas* Editorial Interamericana S.A. México. Pág. 161
- ATWOOD, C. (2015) *Mecanismos de la contaminación por mercurio orgánico*. Editorial Trellas. Argentina. Pág. 70
- BACELO, J. (2017). *Determinación del Hierro en aguas*. Publicación del Instituto de Investigaciones, Microquímica. Argentina. Pág. 2 – 12.
- BELCHER, R. (2016). *Determinación de elementos y compuestos considerados tóxicos en las aguas superficiales*. Academia de Ciencias. COWA. Estados Unidos. Pág. 186 – 193.
- BERMAN, E. (2016). *Determinación de arsénico y mercurio en aguas*. Atom. Abs. Newsletter. 6. Pág. 57 – 69.
- BERGER, A. (2017) *Determinación del contenido de plomo en las aguas. Método espectrofotométrico*. C.B.E.D.E. III. (13). New York.
- BIEFFELD, L. (2015). *Extracción de metales de las soluciones acuosas con ditizona. Plomo*. Ind. Eng. Chem. Anal. Edit. I. (14). 275. USA.
- BLUMBERG, A. (2017). *Riesgos y sustancias química*. Journal of Chemical Education. 71: 912-918.
- CALBERT, J. (2015). *Mecanismos químicos de la contaminación de aguas Superficiales*. Naturaza 317: 27 – 35.
- COLBORN, T. et. al. (2016). *Efectos de la Memoria sobre el medio ambiente*. Our Stelen Future. New York. Dulton. Pág. 240 – 256.
- CONSUMER REPORTS. (2015). *¿Hay plomo en su agua? Diseño y tratamiento de aguas*. Febrero: 73 – 78 y 79 – 82.
- CLARKSON, T. (2015). *El mercurio: Temas Principales sobre salud ambiental*. Environmental Health perspectivas 100: 31–38.

- CHAMEIDES, W. (2016). *Química de la hidrosfera*. Chemical & Engineering News. Octubre 4 – Pág. 38 -52.
- DOCKERY, D. (2017). *La minería como contaminante del medio ambiente*. Publicaciones Inter-ciencia S.A Barcelona. Pág. 205 – 215.
- FERGUNSON, J. (2016). *Metales pesados. Su impacto ambiental*. Oxford. Pergamon Press.
- GOYER, R. (2016). *Resultados de investigación sobre contaminación con plomo*. Environmental Heath Perspectiva. 104:1050 – 1054.
- HARRISON, R. (2015). *Causas de la Contaminación del agua. Efectos y control*. Segunda Edición. Cambridge. Sociedad Real de Química.
- HUTCHINSON, E. (2018). *Metales pesados, sus efectos sobre el organismo humano*. New York. John Wiley & Sons.
- INFORME EPA. (2016) *Sobre contaminación de las Aguas en centros mineros*. Environmental Science & Technology: 29: 26 A – 28 A. (Aspectos relevantes de los EE.UU. Informe de la EPA sobre fuentes, exposiciones e impactos de los cianuros sobre la salud).
- INSTITUTO DEL CLORO. (2018). *“Información sobre el proceso cloro – álcali”*. España. Editorial Umbroo S.A.
- JONES, P. (2015) *Contaminantes de la Minería*. Editorial McGRAW – HILL – New York. Pág. 87 – 98.
- KRISHNA, S. (2016). *Biometilación y transporte ambiental de metales*. Journal of Chemical Education 69 (5) 347 – 350
- KRUSS, P (2015). *Química de la contaminación*. Cap. VII. Morin Heights. Québec: Polyscience Publications.
- LANG, I. (2016). *¿Cuál es el destino de los contaminantes de la Minería?*. Environmental Hatlh Perspectivas – 100: 578 – 583.
- LUBIN, J. (2015). *Efecto cancerígeno de las aguas contaminadas*. Journal of the National Cancer Institute 87: 1144 – 1149.

- ROMM, J. et. al. (2015) *La minería como contaminante de la hidrosfera*. Editorial Interamericana. New York. Pág. 32 – 38.
- SMITH, A. et. Al. (2015). *Riesgos de cáncer por beber agua de efluentes mineros*. Environmental Health Perspectives. 97 259 – 267.
- STEM, D. (2016) *Estimación de la Contaminación global de las aguas superficiales por causa de metales pesados*. Marcombo Editores. Barcelona. Pág. 71 – 95.
- TSUDA, T. et al. (2002). *Arsénico inorgánico. Un peligro para las aguas superficiales*. Applied Organometallic chemistry y 6: 309 – 322.

VIII. ANEXOS

Anexo 01

Informes de resultados analíticos

Nº de Referencia: A-23/156498	Registrada en: AGQ Perú	Cliente (*): S L G MINCOSUR E.I.R.L
Análisis: A-PR-0056 Anexo I,II y III Inorg	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio (*): CAL SOL DE ICA N°13 2DO PISO LOTE A-06 INT. 1 H.U. LOS PORTALES
Tipo Muestra: Agua Río	Fecha Recepción: 01/12/2023	Contrato: QMT-PE231000836
Fecha Inicio: 01/12/2023	Fecha Fin: 14/12/2023	Cliente 3º(*): JESSENIA LEONOR LOAYZA GUTIERREZ
Descripción(*): P1 AGUAS ARRIBA		
Fecha/Hora Muestreo: 01/12/2023 07:00	Muestreado por: *Cliente (*)	
Lugar de Muestreo: OTOCA - LUCANAS - AYACUCHO		
Punto de Muestreo: P1 AGUAS ARRIBA		

A continuación se exponen el informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los resultados reflejados en el presente informe se refieren únicamente a la muestra tal como es recibida en el laboratorio y sometida a ensayo. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, tanto la asociada a la toma de muestras realizada por él como a otros datos descriptivos, marcados con (*) y que se encuentran fuera de nuestro alcance de Acreditación.



Roberto Chuquimayo Arellano Giannina Aguilar Diaz
CQP-779

FECHA EMISIÓN: 15/12/2023

OBSERVACIONES (*):
CORDENADAS: ALTITUD 1793.4 MSNM

NOMBRE DEL PROYECTO: CONTAMINACION DE LOS EFLUENTES LIQUIDOS DE MINA Y SU IMPACTO EN EL ECOSISTEMA ACUÁTICOS SUPERFICIAL EN LA ZONA MINERA DE OTOCA - AYACUCHO - 2023 INFORME DE ENSAYO HIDROBIOLÓGICO N°1757 - 2023



INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE - 072

N° de Referencia: A-23/156498

Descripción(*): P1 AGUAS ARRIBA

Tipo Muestra: Agua Rio

Fecha Fin: 14/12/2023

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA
Parámetros Físico-Químicos				
Color	7	CU	±0,91	
Conductividad Eléctrica	642	µS/cm a 25 °C	±42	
Dureza	215	mg/L CaCO3	±12	
* pH	8,41	Unidades de pH	±0,084	
Sólidos Totales Disueltos	403	mg/L	±70	
Turbidez	1,40	NTU	±0,1	
Formas Nitrogenadas/Fosforadas				
Amoníaco	0,635	mg/L	±0,073	
Aniones -				
Cianuro Total	< 0,00080	mg/L	-	
Clorato	< 0,05	mg/L	-	
Clorito	0,15	mg/L	-	
Cloruro	52	mg/L	±2,0	
Fluoruro	0,27	mg/L	±12%	
Nitrato	1,3	mg/L NO3	±0,12	
Nitrito	0,149	mg/L NO2	±0,014	
Sulfato	132	mg/L	±6,0	
Metales Totales				
Aluminio Total	0,069	mg/L	±0,012	
Antimonio Total	< 0,001	mg/L	-	
Arsénico Total	0,003	mg/L	±0,00043	
Bario Total	0,028	mg/L	±0,0015	
Boro Total	0,377	mg/L	±0,034	
Cadmio Total	< 0,0002	mg/L	-	
Cobre Total	0,026	mg/L	±0,004	
Cromo Total	< 0,001	mg/L	-	
Hierro Total	< 0,008	mg/L	-	
Manganeso Total	0,040	mg/L	±0,0064	
Mercurio Total	< 0,000085	mg/L	-	
Molibdeno Total	0,003	mg/L	±0,00028	
Níquel Total	< 0,001	mg/L	-	
Plomo Total	< 0,0005	mg/L	-	
Selenio Total	< 0,001	mg/L	-	
Sodio Total	38	mg/L	±5,1	
Uranio Total	< 0,00100	mg/L	-	
Zinc Total	0,016	mg/L	±0,0017	
Microbiología				
* Formas parasitarias (Helminthos y Protozoarios Parasitarios)	< 1,00	Org./L	-	
¹²¹ Recuento Bacterias Heterotróficas	8,0 x 10 ²	u.f.c./ml	-	
¹²² Recuento Coliformes Fecales	< 1,0	u.f.c./100 ml	-	
¹²³ Recuento Coliformes Totales	< 1,0	u.f.c./100 ml	-	
¹²⁴ Recuento Escherichia coli	< 1,0	u.f.c./100 ml	-	
¹²⁵ Virus (Colifagos somáticos)	8,0	U.F.P./mL	-	



Registro N° LE - 072

 Nº de Referencia: A-23/156499
 Descripción(*): P2 AGUAS ABAJO

 Tipo Muestra: Agua Río
 Fecha Fin: 14/12/2023

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA
Parámetros Físico-Químicos				
Color	7	CU	±1,0	
Conductividad Eléctrica	717	µS/cm a 25 °C	±47	
Dureza	243	mg/L CaCO3	±13	
* pH	7,75	Unidades de pH	±0,077	
Sólidos Totales Disueltos	453	mg/L	±78	
Turbidez	3,90	NTU	±0,28	
Formas Nitrogenadas/Fosforadas				
Amoniaco	0,548	mg/L	±0,063	
Aniones -				
Cianuro Total	< 0,00080	mg/L	-	
Clorato	< 0,05	mg/L	-	
Clorito	0,29	mg/L	-	
Cloruro	48	mg/L	±2,0	
Fluoruro	0,22	mg/L	±12%	
Nitrato	2,1	mg/L NO3	±0,19	
Nitrito	0,256	mg/L NO2	±0,024	
Sulfato	163	mg/L	±7,3	
Metales Totales				
Aluminio Total	0,439	mg/L	±0,076	
Antimonio Total	< 0,001	mg/L	-	
Arsénico Total	0,003	mg/L	±0,00041	
Bario Total	0,028	mg/L	±0,0015	
Boro Total	0,376	mg/L	±0,034	
Cadmio Total	0,0126	mg/L	±0,0022	
Cobre Total	1,61	mg/L	±0,25	
Cromo Total	< 0,001	mg/L	-	
Hierro Total	0,031	mg/L	±0,0041	
Manganeso Total	0,676	mg/L	±0,11	
Mercurio Total	< 0,000085	mg/L	-	
Molibdeno Total	0,003	mg/L	±0,00026	
Níquel Total	0,004	mg/L	±0,0004	
Plomo Total	< 0,0005	mg/L	-	
Selenio Total	< 0,001	mg/L	-	
Sodio Total	40	mg/L	±5,4	
Uranio Total	< 0,00100	mg/L	-	
Zinc Total	0,543	mg/L	±0,059	
Microbiología				
* Formas parasitarias (Helmintos y Protozoarios Parasitarios)	< 1,00	Org./L	-	
¹⁰³ Recuento Bacterias Heterotróficas	3,6 x 10 ¹	u.f.c./ml	-	
¹⁰² Recuento Coliformes Fecales	< 1,0	u.f.c./100 ml	-	
¹⁰³ Recuento Coliformes Totales	< 1,0	u.f.c./100 ml	-	
¹⁰³ Recuento Escherichia coli	< 1,0	u.f.c./100 ml	-	
¹⁰³ Virus (Colifagos somáticos)	< 1,0	U.F.P./mL	-	

Anexo 02
Imágenes de la recolección de datos

Imagen N° 01: Puntos de Monitoreo y actividades que generan posible contaminación en el sistema acuático superficial en la zona de Otonca, Mapa hidrográfico de la cuenca hidrográfica (Google Earth).



Imagen N° 02: Lugar de actividad minera – Otonca Ayacucho



Imagen N° 03: Reconocimiento de campo en la zona de muestreo.



Imagen N° 04: Recojo de muestra de Efluentes líquidos de mina.

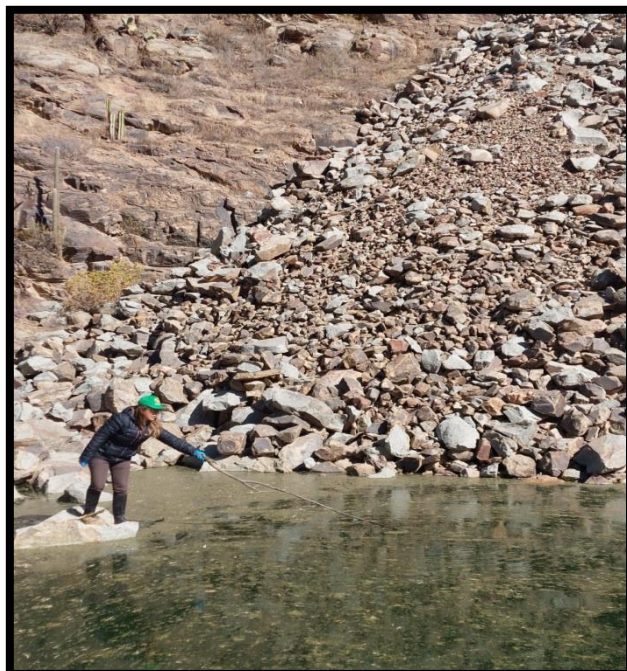


Imagen N° 05: Recojo de muestra de aguas superficial del punto aguas abajo.



Imagen N° 06: Recojo de muestra de aguas superficial del punto aguas arriba.

