



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**PROPUESTA DE TRATAMIENTO DEL DRENAJE ÁCIDO
GENERADO POR LA UNIDAD MINERA ARASI EN LA
MICROCUCENCA DEL RIO LLALLIMAYO PUNO – 2019**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. HECTOR SOLOISOLO CUTIPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A mi madre Maximiliana, quien me enseñó que hacer con ella.

A mi padre Genaro Soloisolo Quispe, por creer en mí.

A mi hermana, quien me presta su inocencia.

A David, al que todo esto le da igual.

A Darío, por victorioso “si cumple”

A mi April, lentamente my princess

Héctor Soloisolo C.



AGRADECIMIENTOS

A mi Familia (Rano), por su apoyo incondicional.

A la U.M. Arasi y la comunidad, por acogerme en el área de estudio.

A la Facultad de Ingeniería de Minas de la UNA-PUNO, por las enseñanzas en las aulas.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE CUADROS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	22
1.2.1 Problema general	22
1.2.2 Problemas específicos.....	22
1.3 OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN	22
1.3.1 Objetivo general	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.4.1 Hipótesis general	23
1.4.2 Hipótesis específico.....	23
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	23
CAPITULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	25
2.1.1 A nivel internacional.....	25
2.1.2 A nivel nacional.....	27
2.1.3 A nivel local	29
2.2 MARCO TEÓRICO	33
2.2.1 Categorías de drenajes de mina	33
2.2.2 Drenaje acido	34



2.2.3	Drenaje ácido de mina (DAM)	35
2.2.4	Tratamientos para el (DAM).....	39
2.2.5	Influencia del carbonato de calcio en la precipitación del aluminio	41
2.2.6	Tipos de contaminación de agua a causa de la minería.....	41
2.2.7	Rocas calizas	43
2.2.8	Carbonato de calcio (CaCO ₃).....	44
2.2.9	Canales de roca caliza.....	46
2.3.	MARCO CONCEPTUAL	47
2.4.	MARCO LEGAL	50
2.5.	DESCRIPCIÓN DE LA SUB CUENCA LLALLIMAYO	54

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	UBICACIÓN DEL ESTUDIO	56
3.1.1	Ubicación	56
3.1.2	Tipo de yacimiento.....	57
3.1.3	Acceso	57
3.1.4	Clima	58
3.1.5	Recursos naturales	59
3.1.6	Ganadería.....	60
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	60
3.2.1	Población:	60
3.2.2	Muestra	60
3.3	DISEÑO ESTADÍSTICO	60
3.4	TIPO DE INVESTIGACIÓN	61
3.4.1	Diseño de investigación:.....	61
3.4.2	Método de investigación.....	61
3.4.3	Procesamiento de datos.....	61
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	62
3.5.1	Técnicas	62
3.5.2	Materiales e insumos.....	62
3.6	VARIABLES DE ESTUDIO	63
3.6.1	Variables independientes.....	63
3.6.2	Variables dependientes	63



3.7 PROCEDIMIENTO.....	63
3.8 DESCRIPCIÓN DE MÉTODO POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS	64
CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. EVALUAR LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICO DE EFLUENTES LÍQUIDOS.	70
4.2 ANALIZAR LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICO DE EFLUENTES LÍQUIDOS TRATADOS	72
4.3 PROPUESTA DE TRATAMIENTO.....	112
V. CONCLUSIONES	118
VI. RECOMENDACIONES.....	119
VII. REFERENCIAS	120
ANEXOS	123

ÁREA : Cierre de Minas

TEMA : Tratamiento de Drenaje Acido Mina (DAM)

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 15 de marzo del 2021.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapas en la formación de Aguas ácidas.	38
Figura 2. Tratamiento de pasivos.....	41
Figura 3: Macro localización zona de estudio	56
Figura 4: Sub cuenca de rio Llallimayo.....	57
Figura 5: Recursos naturales.....	59
Figura 6: Parámetros de Aluminio antes y después del tratamiento.....	73
Figura 7: Parámetros de Arsénico antes y después del tratamiento.....	75
Figura 8: Parámetros de Bario antes y después del tratamiento.	78
Figura 9: Parámetros de Berilio, antes y después del tratamiento.	80
Figura 10: Parámetros de Boro antes y después del tratamiento	82
Figura 11: Parámetros de Cadmio antes y después del tratamiento	84
Figura 12: Parámetros de Cobre, antes y después del tratamiento	86
Figura 13: Parámetros de Cobalto antes y después del tratamiento	89
Figura 14: Parámetros de Cromo Total antes y después del tratamiento.....	91
Figura 15: Parámetros de Hierro antes y después del tratamiento.....	93
Figura 16: Parámetros de Litio antes y después del tratamiento	95
Figura 17: Parámetros de Magnesio, antes y después del tratamiento	97
Figura 18: Parámetros de Manganeso antes y después del tratamiento.....	99
Figura 19: Parámetros de Mercurio antes y después del tratamiento	101
Figura 20: Parámetros de Níquel antes y después del tratamiento	104
Figura 21: Parámetros de Plomo antes y después del tratamiento.....	105
Figura 22: Parámetros de Selenio antes y después del tratamiento	108
Figura 23: Parámetros de Zinc antes y después del tratamiento.....	109
Figura 24: Parámetros físicos químicos.....	111



Figura 25: Rio Chacapalca – Ocuvi	137
Figura 26: recojo de muestras Rio Chacalpa-Ocuvi	137
Figura 27: Rio hatun Ayllu – Ocuvi	138
Figura 28: Unión del rio Ocuvi y rio Hatun Ayllu - Ocuvi	138
Figura 29: Unión del rio Ocuvi y rio Hatun Ayllu - Ocuvi	139
Figura 30: Roca caliza –Ocuvi	139



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales.....	34
Tabla 2: Tipos de drenajes de mina.	36
Tabla 3: Clasificación de calizas según el contenido de CaCO_3	44
Tabla 4: Categoría 3 riego de vegetales y bebidas de animales.	53
Tabla 5: Parámetros físico químicos de efluentes líquidos de la Unidad Minera Arasi en la subcuenca del río Llallimayo región Puno.	70
Tabla 6: Parámetros inorgánicos de efluentes líquidos sin tratar de la unidad minera Arasi en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.....	71
Tabla 7: Parámetros de Aluminio antes y después del tratamiento.	73
Tabla 8: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Aluminio.....	74
Tabla 9: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Aluminio .	75
Tabla 10: Parámetros de Arsénico antes y después del tratamiento.....	75
Tabla 11: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Arsénico.....	77
Tabla 12: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Arsénico.	77
Tabla 13: Parámetros de Bario antes y después del tratamiento.	78
Tabla 14: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Bario.	79
Tabla 15: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Bario.....	80
Tabla 16: Parámetros de Berilio antes y después del tratamiento	80
Tabla 17: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Berilio.	81
Tabla 18: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Berilio. ..	82
Tabla 19: Parámetros de Boro antes y después del tratamiento	82
Tabla 20: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Boro.	83
Tabla 21: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Boro.....	84



Tabla 22: Parámetros de Cadmio antes y después del tratamiento.....	84
Tabla 23: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Cadmio.....	85
Tabla 24: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Cadmio..	86
Tabla 25: Parámetros de Cobre antes y después del tratamiento.....	86
Tabla 26: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Cobre.	87
Tabla 27: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Cobre.....	88
Tabla 28: Parámetros de Cobalto antes y después del tratamiento.....	89
Tabla 29: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Cobalto.....	90
Tabla 30: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Cobalto..	90
Tabla 31: Parámetros de Cromo Total antes y después del tratamiento.....	91
Tabla 32: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Cromo.	92
Tabla 33: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Cromo. ..	92
Tabla 34: Parámetros de Hierro antes y después del tratamiento.....	93
Tabla 35: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Hierro.....	94
Tabla 36: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Hierro. ...	94
Tabla 37: Parámetros de Litio antes y después del tratamiento.....	95
Tabla 38: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Litio.	96
Tabla 39: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Litio.....	96
Tabla 40: Parámetros de Magnesio, antes y después del tratamiento.....	97
Tabla 41: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Magnesio.	98
Tabla 42: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Magnesio.	98
Tabla 43: Parámetros de Manganeso antes y después del tratamiento.....	99
Tabla 44: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Manganeso.....	100



Tabla 45: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Manganeso	100
Tabla 46: Parámetros de Mercurio antes y después del tratamiento	101
Tabla 47: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Mercurio.	102
Tabla 48: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Mercurio.	102
Tabla 49: Parámetros de Níquel antes y después del tratamiento	103
Tabla 50: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Níquel.	104
Tabla 51: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Níquel..	105
Tabla 52: Parámetros de Plomo antes y después del tratamiento	105
Tabla 53: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Plomo.....	106
Tabla 54: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Plomo..	107
Tabla 55: Parámetros de Selenio Antes y después del tratamiento	107
Tabla 56: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Selenio.	108
Tabla 57: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas Selenio.	109
Tabla 58: Parámetros de Zinc antes y después del tratamiento	109
Tabla 59: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Zinc.	110
Tabla 60: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Zinc.	111
Tabla 61: Parámetros físico químicos de efluentes líquidos tratados de la Unidad Minera Arasi en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.	111
Tabla 62: Pruebas de normalidad de Shapiro Wilk de parámetros inorganicos.	115
Tabla 63: Estadísticas de muestras emparejadas.	116
Tabla 64: Correlaciones de muestras emparejadas de parámetros inorgánicos de efluentes líquidos de la Unidad Minera Arasi en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.....	116



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Vías de comunicación terrestre ruta Juliaca	58
--------------------------------------------------------------------	----



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Estándar de calidad ambiental.	124
Anexo 2: Categoría 3 estándares de calidad ambiental (ECA).	125
Anexo 3: Niveles máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas.	126
Anexo 4: Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicos.	127
Anexo 5: Plano de ubicación de estudio.	128
Anexo 6: Diseño de canal de tratamiento.	129
Anexo 7: Diseño de planta.	130
Anexo 8: Vista planta presa y transversal de tratamiento del drenaje ácido mina.	131
Anexo 9: Informe de ensayo LAS.	132
Anexo 10: Informe de ensayo LAS.	133
Anexo 11: Informe de ensayo LAS.	134
Anexo 12: Informe de ensayo LAS.	135
Anexo 13: Informe de ensayo LAS.	136



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AID	: Área de Influencia Directa
AII	: Área de Influencia Indirecta
ANA	: Autoridad Nacional del Agua
CaCO₃	: Carbonato de calcio
DAM	: Drenaje Ácido de Mina
DS	: Decreto Supremo
EIA	: Estudio de Impacto Ambiental
EIA-d	: Estudio de Impacto Ambiental Detallado
EIA-sd	: Estudio de Impacto Ambiental Semi-detallado
MINEM	: Ministerio de Energía y Minas
ALD	: Drenaje Calizo Anóxico
OEFA	: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OD	: Oxígeno Disuelto
SST	: Solidos Suspendidos Totales
SAC	: Sociedad Anónima Cerrada



RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene por objetivo “Proponer el diseño de un sistema de tratamiento del efluente líquido generado por la Unidad Minera Arasi mediante canales de roca caliza compuesta por carbonato de calcio (CaCO_3) en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno. En la metodología de investigación se empleó métodos cuantitativos continuos, por los datos tomados antes y después, esto indica que fue aplicada in situ y trabajo de gabinete, tipo de investigación que le corresponde es experimental porque se realizó los ensayos de calidad de agua. A partir de ello los ensayos de laboratorio mediante el uso de roca caliza para bajar la concentración de metales y neutralizar el pH, en la cual se realizaron ensayos tomando como muestra 120 litros de agua ácida de la zona alta de la sub cuenca del río Llallimayo (río Chacapalca antes de la unión con río Azufrini y Pataqueña) que fueron divididas en dos muestras, *in-situ* y muestra en laboratorio utilizando 03 kilogramos de roca caliza compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3) por 40 litros de agua ácida. Las cuales fueron desarrolladas en un periodo de 2 días, y los resultados obtenidos demuestran que incrementa el pH de 5.38 mg/L a 8.24 mg/L y disminuye la presencia de metales pesados como: Aluminio de 6.16 mg/l a 3.87 mg/l, Arsenico 0.2341 mg/l a 0.1014mg/l, Boro 1.554mg/l a 0.7759mg/l, Cobre 1.535 mg/l a 0.7764 mg/l, Hierro 13.2 mg/l a 5.55mg/l y Manganeso 0.86201mg/l a 0.29530mg/l en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno y finamente cumplen los estándares de calidad ambiental.

Palabras Clave: Calidad de agua, drenaje ácido, efluente líquido, propuesta y tratamiento.



ABSTRACT

The objective of this research work is to “Propose the design of a treatment system for the liquid effluent generated by the Arasi Mining Unit through limestone channels composed of calcium carbonate (CaCO_3) in the Llallimayo river sub-basin in the Puno region. In the research methodology, continuous quantitative methods were used, due to the data taken before and after, this indicates that it was applied in situ and in the office, the type of research that corresponds to it is experimental because the water quality tests were carried out. From this, the laboratory tests using limestone rock to lower the concentration of metals and neutralize the pH, in which tests were carried out taking as a sample 120 liters of acidic water from the upper area of the Llallimayo river sub-basin. (Chacapalca river before the union with the Azufrini and Pataqueña rivers) that were divided into two samples, in-situ and sample in the laboratory using 03 kilograms of limestone rock composed mainly of calcium carbonate (CaCO_3) per 40 liters of acidic water. Which were developed in a period of 2 days, and the results obtained show that it increases the pH from 5.38 mg / L to 8.24 mg / L and decreases the presence of heavy metals such as: Aluminum from 6.16 mg / l to 3.87 mg / l, Arsenic 0.2341 mg / l to 0.1014mg / l, Boron 1.554mg / l to 0.7759mg / l, Copper 1.535 mg / l to 0.7764 mg / l, Iron 13.2 mg / l to 5.55mg / l and Manganese 0.86201mg / l to 0.29530mg / l in the sub-basin of the Llallimayo river in the Puno region and finely meet the environmental quality standards.

Key Words: Water quality, acid drainage, liquid effluent, proposal and treatment.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Según el informe Técnico N° 138 (Autoridad Nacional del Agua, 2017) del 5 de diciembre, las aguas de la zona alta de la cuenca (donde se ubica la Unidad Minera Arasi de la Empresa Minera Aruntani SAC.), con cordenas 299039.65 8315631.9, que corresponde a la quebrada Lluchusani, río Azufrini y Chacapalca, son ácidas y se encuentran contaminadas por metales pesados como: Aluminio, Arsénico, Berilio, Litio, Magnesio, Hierro, Cobalto, Cobre, Cadmio y Plomo. Del mismo modo el INFORME N° 039-2017 del 21 de abril del 2017, llega a la conclusión de que las aguas que consumen en los distritos de Llalli, Cupi, Umachiri y Ayaviri, no cumplen con los límites máximos permisibles del reglamento de calidad de agua para consumo humano (Dirección Regional de Salud- Gobierno Regional -PUNO, 2017).

El método, Sistema de Tratamiento del Drenaje Acido Mina es primordial, esto para garantizar la calidad de agua en aguas abajo, existen dos tipos de métodos; activos y pasivos, primera mente como sucede en una planta química de tratamiento de aguas ácidas, el tratamiento de aguas de mina utilizando métodos químicos mediante la adición de sustancias alcalinas, tiene un costo elevado sobre todo cuando se trata de grandes volúmenes. Además requiere un control y mantenimiento de las instalaciones de aireación y mezclado, así como de un almacenamiento adecuado de los lodos con carga metálica. Seguidamente los métodos pasivos puesto que la intervención del hombre es mínima, tal como sucede con los humedales, drenajes anóxicos calizos, sistemas de producción de alcalinidad y otros. Aduvire (2006) indica que, el objetivo principal de los métodos de tratamiento de las aguas ácidas es la supresión de la acidez, la precipitación de los metales pesados y la eliminación de sustancias contaminantes como sólidos en suspensión, arseniatos, antimoniatos y otros.



El diseño de un Sistema de Tratamiento del Drenaje Ácido, varía según a diversos factores como: adecuación a la zona, tipo de explotación, geología, ubicación y otros, que pueden influir o afectar la ejecución continua, debido a ello nace la siguiente interrogante de investigación: **¿En qué medida influye la propuesta del diseño de un Sistema de Tratamiento del Drenaje Acido generado por la Unidad Minera Arasi mediante canales de roca caliza (carbonato de calcio) en la subcuenca de Rio Llallimayo región Puno?**

La hipótesis planteada dice que, la **propuesta del diseño de un Sistema de Tratamiento del Drenaje Acido generado por la Unidad Minera Arasi mediante canales de roca caliza (carbonato de calcio), influye significativamente en la reducción de metales pesados en la sub cuenca del rio Llallimayo región Puno.**

Considerando la zona alta de la subcuenca del rio Llallimayo (donde se ubica la Unidad Minera Arasi de la Empresa Minera Aruntani SAC.) que corresponde a la quebrada Lluchusani, río Azufrini y río Chacapalca, evaluación de la calidad físico químico de efluentes líquidos de la Unidad Minera Arasi y seguidamente tratados mediante el uso de roca caliza compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3).

Puesto que, en la actualidad la calidad físico químico de los influentes líquidos generados por la unidades mineras, sigue siendo el principal problema en los trabajos que realizan las empresas mineras, para lo cual, instituciones y empresas del rubro reconocen la importancia de la calidad del influente líquido ríos abajo, conocer el tipo de Sistema de Tratamiento para el Drenaje Ácido y es primordial adoptar medidas de prevención y control que eviten o impidan la presencia de metales pesados en los ríos.



Debido al tratamiento del drenaje ácido mina con el método pasivo como: canales de roca caliza compuesta por carbonato de calcio (CaCO_3), es una nueva tecnología que consiste en utilizar la roca caliza en reactores de cama fluidizada para un método económico de neutralizar la acidez del drenaje ácido mina (DAM), agregando la alcalinidad, y removiendo contaminantes metálicos de las aguas impactadas por operaciones mineras.

El presente trabajo de investigación consta de cuatro capítulos, que está estructurado de la siguiente manera: En el capítulo I, se considera el planteamiento del problema, el objetivo general, los objetivos específicos y la justificación de la investigación realizada, en el capítulo II, se desarrolla el marco teórico, analizando las bases teóricas y definiciones conceptuales que serán la base para realizar el trabajo de investigación, en el capítulo III, se describe el proceso de la metodología de investigación y las variables. Finalmente en el capítulo IV, se plantea la exposición y análisis de los resultados de la propuesta de tratamiento del drenaje ácido generado por la Unidad Minera Arasi en la microcuenca del río Llallimayo Puno – 2019”.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el Drenaje Ácido de Minas (DAM) causa grandes problemas ambientales debido al alto potencial de contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. A nivel nacional, representa uno de los mayores problemas socio ambientales, específicamente en la región Puno, provincia de Melgar (capital ganadera). Entre las principales características del Drenaje Ácido de Minas (DAM) de este lugar podemos citar: Los bajos valores de pH, elevadas concentraciones de iones metálicos (Fe, Al, Zn y Mn, principalmente). El tratamiento de estos metales pesados representa uno de los retos del presente trabajo.



En la subcuenca de río Llallimayo, ubicado en la provincia de Melgar y Lampa de la región Puno, desde año 2012, según informes de Autoridad Nacional de Agua (ANA), en los ríos de la zona alta (río Lluchusani, Azufrini y Chacapalca son ácidos) y se encuentran contaminadas por metales pesados con Aluminio, Arsénico, Berilio, Litio, Magnesio, Hierro, Cobalto, Cobre, Cadmio y Plomo. El grado de contaminación en la sub Cuenca Llallimayo se ha tipificado como muy grave, porque los metales pesados identificados sobrepasan excesivamente Límites Máximos Permisibles (LMPs) de los Estándares de Calidad Ambiental (ECAS). Lo cual nos lleva a evaluar la calidad físico químico de aguas y actualmente en el proceso de cierre final realizar estudios complementarios en zonas cercanas a la Unidad Minera Arasi.

Que mediante el informe 054-2017-0EFA/DE-SDLB-CEAM se determinó que el agente responsable de la contaminación ambiental de la Cuenca Llallimayo es la unidad Minera Arasi, de la empresa Aruntani SAC, que se encuentra ubicado en la cabecera de cuenca del río Llallimayo (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2017).

En la actualidad prima el cuidado del medio ambiente y se busca realizar actividades que garanticen el bienestar de la población del área de influencia directa e indirecta ya sea aguas abajo entre otros. Una de las operaciones unitarias mineras que busca brindar la integridad de la población es la de manejo del drenaje ácido mina, regulando el cese de operaciones de la actividad minera a través de Ley que Regula el Cierre de Minas (Ley 28090 – 14 octubre 2003), y su reglamento (D.S. 033-2005-EM, 16 agosto 2005), en la cual se señala la obligatoriedad de la presentación de planes de cierre mina con el objetivo de eliminar o minimizar los riesgos que pudieran derivarse del cese de operaciones de las unidades mineras. Sin embargo, antes de la existencia de esta normativa, no existía un marco legal que tomara en cuenta medidas para la salvaguarda del medio ambiente.



Existen dos tipos de métodos tratamiento activos y pasivos. El método activo en un proceso químico, como sucede en una planta de tratamiento de aguas ácidas, mediante la adición de sustancias alcalinas. El método pasivo, es un proceso natural mediante la aplicación de humedales, drenajes anóxicos calizos, sistemas de producción de alcalinidad y otros.

El objetivo principal de los métodos de tratamiento de las aguas ácidas es la supresión de la acidez, la precipitación de los metales pesados y la eliminación de sustancias contaminantes. El problema que se tiene con el sistema de tratamiento, es que se aplica indistintamente sin un diseño adecuado ya que es zona de actividad pecuaria y agrícola.

En ausencia de medidas de control socio ambiental debidamente diseñadas para la protección del medio ambiente, permitió que las operaciones mineras impacten en las fuentes de agua vecinas. En el caso del proyecto Arasi, podemos mencionar como las causas de los problemas: El Drenaje Acido Mina (DAM) en áreas de mineralización sulfurosa, la liberación de altas cargas metálicas que generalmente, aunque no siempre, asociadas con condiciones ácidas, la liberación de altas cargas de sedimentos, la inundación, o el riesgo de inundación, de corrientes por relaves u otros desechos sólidos, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas con sustancias peligrosas, tales como los reactivos y otros productos químicos. Estas causas en el área en mención se traducen en: la movilización de partículas sólidas, la adición de sales al agua, la adición de metales pesados a las aguas y el cambio de pH de las aguas.

Con esta investigación busca establecer tratamiento con canales de roca caliza compuesta por carbonato de calcio (CaCO_3), que neutraliza el pH y baja la concentración de metales pesados en la sub cuenca del río Llallimayo, planteamos las siguientes interrogantes.



1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Problema general

¿En qué medida influye la propuesta del diseño de un Sistema de Tratamiento del Drenaje Ácido generado por la Unidad Minera Arasi mediante canales de roca caliza (carbonato de calcio) en la sub cuenca de río Llallimayo región Puno?

1.2.2 Problemas específicos

a) ¿Cuál es la calidad físico químico de efluentes líquidos de la Unidad Minera Arasi en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno?

b) ¿En qué medida influye la calidad físico químico de efluentes líquidos tratados mediante el uso de roca caliza para neutralizar el drenaje ácido en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno?

1.3 OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Proponer el diseño de un Sistema de Tratamiento del Drenaje Acido generado por la Unidad Minera Arasi mediante canales de roca caliza (carbonato de calcio) en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.

1.3.2 Objetivos específicos

a) Evaluar la calidad físico químico de efluentes líquidos de la Unidad Minera Arasi en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.

b) Analizar la calidad físico químico de efluentes líquidos tratados mediante el uso de roca caliza para neutralizar el drenaje ácido en sub cuenca del río Llallimayo región Puno.



1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Hipótesis general

La propuesta del diseño de un Sistema de Tratamiento del Drenaje Ácido generado por la Unidad Minera Arasi mediante canales de roca caliza (carbonato de calcio), influye significativamente en la reducción de metales pesados en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.

1.4.2 Hipótesis específico

a. La calidad físico químico de efluentes líquidos de la Unidad Minera Arasi en la subcuenca del río Llallimayo región Puno, presenta contenidos elevados de metales pesados.

b. La calidad físico químico de efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza neutraliza significativamente la presencia de metales en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La subcuenca del río Llallimayo, de acuerdo a los informes de instituciones como: Autoridad Nacional de Agua (ANA), muestra su preocupación sobre lo que ocurre durante la operación de la unidad minera; resulta de especial interés evaluar la calidad físico químico del agua en laboratorio. Posteriormente Utilizando la roca caliza (carbonato de calcio), y a partir de ahí, poder adoptar medidas que permitan prevenir la contaminación y con ello garantizar la calidad de agua.

El informe técnico N° 138-2017-ANA-DGCRH-GOCRH del 5 de diciembre, reporta que las aguas de la zona alta de la cuenca (donde se ubica la Unidad Minera Arasi de la Empresa Minera Aruntani SAC.) que corresponde a la quebrada Lluchusani, río Azufrini y río Chacapalca, son ácidas y se encuentran contaminadas por metales pesados



como Aluminio, Arsénico, Berilio, Litio, Magnesio, Hierro, Cobalto, Cobre, Cadmio y Plomo.

El grado de contaminación en la Cuenca Llallimayo se ha tipificado como muy grave, porque los metales pesados identificados sobrepasan excesivamente límites máximos permisibles (LMPs) de las Estándares de Calidad Ambiental (ECAS). Lo cual nos formula el siguiente problema **¿En qué medida influye la propuesta del diseño de un Sistema de Tratamiento del Drenaje Ácido generado por la Unidad Minera Arasi mediante canales de roca caliza (carbonato de calcio) en la sub cuenca de río Llallimayo región Puno?** la presente investigación se realiza por la necesidad de una propuesta de dar alternativas de solución que pueda controlar y mitigar el impacto que genera el drenaje ácido mina (DAM), que se está suscitando en la cuenca del río Llallimayo, que es la principal fuente de aguas para la población de la provincia de Lampa y Melgar, estas aguas son usadas para el consumo de la población, animales, regadío de los cultivos, pastos y forrajes, finalmente es necesario controlar el impacto medioambiental que se genera.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 A nivel internacional

Según Zamora & Gorrity (2015), en su trabajo de investigación, circunscribe a realizar una “*Propuesta de Tratamiento de las Aguas Ácidas de la Mina Milluni Mediante Drenes Anóxicos Calizos*”, como una alternativa al tratamiento actual por precipitación con cal. La cantidad total de caliza que se calculó para tratar 100 litros por segundo de agua ácida mediante un Dren Anóxico Calizo, considerando un tiempo de residencia de 15 horas y 20 años de operación, fue de 32,271.026 toneladas. Por tanto, el tratamiento de las aguas ácidas de la mina Milluni es técnico, económico y ambientalmente más favorable que el tratamiento convencional por neutralización precipitación con cal.

Según, Sanchez & Ferreira (2016) en su artículo científico “*Drenajes Ácidos de Mina Alternativas de Tratamiento*” El tratamiento ALD comenzó como un agregado anterior a los humedales naturales y artificiales como un modo de añadir alcalinidad ya que el Fe precipita a la salida del drenaje al encontrar condiciones aeróbicas. En algunos casos se han usado como único tratamiento básicamente cuando el influente proviene de bocas de minas profundas con pH bajos y contenidos de Fe relativamente limitados.

Según Cervantes (2014) en su tesis de investigación titulada: “*Caracterización del drenaje ácido y de las rocas asociadas a una mina para evaluar su posible aplicación en un sistema de tratamiento pasivo*” en el cual menciona que el drenaje ácido de minas (DAM) resultado de la oxidación de los sulfuros minerales expuestos en las obras mineras representa un riesgo para los cuerpos de agua superficiales o subterráneos por su elevado contenido de acidez neta, metales y metaloides en solución, sales y sulfatos, menciona



también que en la actualidad el control se hace por medio de tratamientos activos y pasivos y estos tratamientos activos consumen energía y requieren el uso de reactivos lo que los hace poco viables a largo plazo. La investigación se ha enfocado hacia los pasivos ya que tienen como principal ventaja el uso de materiales naturales, además de que no utilizan energía y representan un bajo costo a largo plazo. En la mina donde se realiza el estudio se encontró la presencia de DAM en las obras mineras, este drenaje ácido recibe un tratamiento activo con el uso de Na_2CO_3 y el reúso del agua tratada para las operaciones. Pensando a futuro en un cierre sustentable propone desarrollar un sistema pasivo capaz de tratar el DAM de manera continua, el cual pueda ser instalado dentro de la mina. El objetivo de la investigación fue evaluar la posibilidad de un tratamiento pasivo con el uso de las rocas de la zona. La metodología para este proyecto consistió en la caracterización del DAM y de las rocas asociadas al yacimiento de la mina. El pH del DAM va de 2.44 y 3.38, altas concentraciones de metales disueltos como cadmio, cobre, hierro, manganeso y zinc; además presenta un alto contenido de sulfatos y cationes (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}). Se identificaron tres tipos de roca de interés asociadas al yacimiento (filita, esquisto y caliza) en las que se determinó la mineralogía mediante microscopía y difracción de rayos X; además se determinaron Iones mayores y elementos traza mediante FRX y cromatografía. Los resultados indican que la filita y la caliza tienen minerales como calcita, micas, plagioclasas que tienen capacidad de neutralizar el DAM. Además se realizaron pruebas de potencial de neutralización con la roca obteniendo resultados favorables para la caliza y la filita; y valores negativos para el esquisto. Con base en los resultados obtenidos se concluye que es posible utilizar estas rocas en un sistema de tratamiento pasivo.



2.1.2 A nivel Nacional

Según, Sucapuca et. al, (2017) en la revista Ciencia y Tecnología - Para el Desarrollo titulado "*Medidas de remediación de las aguas del embalse Pasto Grande, Moquegua – Perú*". Con el siguiente objetivo, Definir un plan de acción para el mejoramiento de la calidad de las aguas contenidas en el Embalse Pasto Grande, en base a las acciones realizadas por el Consorcio V-5 y su grupo de especialistas contratados. Método. Estudio descriptivo, se procedió a revisar los ensayos de laboratorio realizados por el Consorcio V-5, buscando el tratamiento químico que pueda revertir la acidez del agua embalsada, el tipo y tiempo de tratamiento propuesto para cada afluente, en su recorrido desde la naciente a su descarga al embalse, se definió de acuerdo a las características de cada punto, asumiendo, asimismo, que el sistema pudiera estar próximo a ser declarado en emergencia si las condiciones se mantienen. Resultados y conclusiones. Se considera como urgente el tratamiento químico de modo integral, con cal hidratada para el mejoramiento de la calidad de las aguas del embalse, luego de asegurada la neutralización sostenida de las aguas del embalse se reduce la aplicación en los afluentes para mantener un pH regulado de ingreso a rangos neutros o ligeramente ácidos pH (u.e) 3 y 3,3. de acidez en los afluentes millojahuira y antajarani, sabiendo, lo normal es pH 5,795 u.e, en forma paralela se aplicarán tratamientos biológicos y mixtos, para los tratamientos químicos se considera el uso de estructuras sencillas para aplicación de cal hidratada y de floculantes; para los tratamientos biológicos se usarán especies vegetales capaces de retener o capturar metales de preferencia de origen nativo; para el tratamiento mixto se plantea el uso de piedra caliza como forma de dar facilidades al tratamiento químico previo para zonas alejadas o de difícil acceso.

Según, Palma (2018) en su investigación "*Evaluación del Funcionamiento de un Biorreactor Pasivo Utilizando Bacterias Sulfato-Reductoras para el Tratamiento de*



Drenajes Ácidos de Mina” indica que la evaluación de un biorreactor pasivo utilizando bacterias sulfato reductoras (BSR) durante un período operativo de 75 días se reporta en la presente tesis. El reactor se construyó para demostrar la eliminación de metales pesados del agua principalmente por la actividad de las BSR en zonas remotas o abandonadas. El DAM en la que se probó el tratamiento pasivo emana de un drenaje de una bocamina de roca dura abandonada que constituye actualmente un pasivo ambiental minero (PAM) en la cuenca de San Germán en el nevado Quenamari perteneciente al distrito minero de Ajoyani en la región Puno. Las bacterias reductoras de sulfato son capaces de inmovilizar metales disueltos en el afluente precipitándolos como sulfuros y reduciendo la acidez, si se crea un ambiente bioquímico favorable. Dicho entorno será el que se pretende brindar con la mezcla de varios sustratos orgánicos, recalcitrantes e inorgánicos y evaluar en funcionamiento del biorreactor pasivo a un tiempo de retención hidráulica (TRH) eficiente para el tratamiento Finalmente evaluar la eficiencia del reactor relacionada al incremento del pH y, remoción de metales, incluida la cantidad de fuente de carbono orgánico y su método de colocación.

Según Bejarano & Estacio (2019) en su investigación *“Propuesta de Tratamiento de Drenes Anóxico Calizo Combinado con Humedal en la Mina Michiquillay- Encañada, 2019”* declara que en la zona del proyecto de Michiquillay, en la provincia de Cajamarca, distrito la Encañada existen 15 pasivos ambientales mineros que fueron generados por trabajos mineros, por lo cual nosotros optamos por el tratamiento de Drenes Anóxicos Calizos combinado con Humedal para remediar el DAM la cual tomamos 120 litros de agua ácida que fueron divididas en tres muestras, para cada muestra tratada utilizamos 250gr de caliza por 40 litros de agua ácida y 7kg de material orgánico. Las cueles fueron desarrolladas en un periodo de 3 días, tomando muestras de pH y los resultados obtenidos demuestran que es posible lograr aumentar un pH de 3.9 con un tiempo de residencia de



72 horas, el pH de descarga del tratamiento de Drenaje Anóxico Calizo fue de 7 logrando la neutralidad y en el tratamiento de Humedal se utilizó 50 cm de materia orgánica por 30 cm de agua tratada del ALD y se plantamos dos tipos de plantas encontradas en la zona (Berros de Agua y Carrizo de Jalca) después de 10 días de monitoreo los resultados obtenidos demuestran que alcanzamos una alcalinidad de 9.

2.1.3 A nivel Local

Según Arizaca (2016) en su tesis de posgrado titulado: *“Inversiones Mineras, Conflictos Sociales y Desarrollo Humano Sostenible en el Perú 2001-2015”* que las inversiones mineras y su impacto en la sociedad es un tema de análisis que ha sido abordado desde diferentes ópticas; el Perú es considerado como país minero y dentro de América Latina se ha constituido en uno de los mayores promotores de grandes inversiones como modelo de desarrollo. El estudio tiene como objetivo determinar el nivel de impacto de las inversiones en minería, en los indicadores macroeconómicos de la economía peruana; la relación con los conflictos socioambientales, y los índices de desarrollo humano, establecer el nivel de impacto del modelo de desarrollo. Para lograr este propósito se aplicó estadística y software especializado; evaluándose, de manera retrospectiva, información oficial del Ministerio de Energía y Minas, Defensoría de Pueblo, INEI y otras vinculadas, considerándose a todas las regiones del país. Los resultados encontrados muestran una asociación directa para todas las variables macroeconómicas de estudio, destacándose las exportaciones, los ingresos del país y las transferencias a los gobiernos regionales y locales; por su parte las inversiones con los conflictos tienen una correlación positiva alta y una baja correlación para inversiones y las variables de índice de desarrollo humano; lo que permite concluir que la actividad minera en las regiones constituye el sector que aporta económicamente de manera significativa, aunque esto no se traduce en indicadores directos de desarrollo humano.



Según Jimenez (2017) en su investigación *“Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con Lechada de Cal de la Unidad Minera Arasi – Puno”*. El propósito de esta investigación es la eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de Cal de la Unidad Minera Arasi – Puno, generado en el pie del Botadero Jessica. La investigación se realizó en cuatro etapas: primero se realizó la medición de caudal y la caracterización del agua ácida, la segunda etapa se realizó los ensayos de laboratorio con la neutralización con lechada de cal y análisis de los parámetros físico-químicos e inorgánicos del agua tratada obtenida de los ensayos de laboratorio, en tercer lugar la adecuación del tratamiento con lechada de cal al actual sistema de tratamiento, y por último la cuarta etapa es el análisis de los parámetros físico-químicos e inorgánicos a nivel de campo. Los resultados obtenidos en la remoción de metales pesados en el efluente a nivel campo a un pH de 8.1, C.E de 5.14 mS/cm y O.D de 5.54mg/l arroja resultados de remoción de 99.96% de Al, 0 % de As, 99.7% de Be, 99.8% de B, 98.9% de Cd, 99.9% de Co, 99.9% de Cu, 99.5% Cr, 99.98% de Fe, 83.5% de Mg, 98.7% de Mn, 99.9% de Ni, 0% de Pb, 0% de Se, y 99.95% de Zn. En conclusión, al neutralizar el drenaje ácido con lechada de cal existe una eficiencia de remoción considerable de los parámetros físico químico e inorgánico.

Según Dalens (2018) en su investigación *“Evaluación de la Calidad del Agua de la Cuenca Llallimayo de la Provincia de Melgar, Región Puno”*. Declara que la sociedad civil debe comprender que la afectación de las aguas del río Llallimayo por la operación de la Empresa Minera Aruntani SAC. Es un problema ambiental importante, ya que buena parte de los habitantes en la cuenca de este río consume esta agua, así como animales, lo que podría causar problemas de salud, por lo que las manifestaciones de protesta social son cada vez más recurrentes. El río Llallimayo, se origina en la naciente del río



Pataqueña en la zona directa, en cuyo ámbito se localiza la Empresa Minera ARUNTANI S.A.C. La confluencia del río Pataqueña con el río Azufrini (cuyo tributario de este río, es la quebrada Luchusani) da origen al río Chacapalca, el cual en su recorrido al unirse con el río Ocuvirí originan el río Llallimayo en proximidades del distrito de Llalí, en cual tributa al río Santa Rosa. Se manifiesta la presencia de estos metales en las aguas de la Cuenca Llallimayo podría ser a causa de la actividad Antropogénica de la “Empresa Minera ARUNTANI SAC.”, por movimiento de tierras y arrastre de escorrentías superficiales de los drenajes y en época de lluvias, toda vez que se demuestre su causalidad, es preciso manifestar que la zona donde se ubica la “Empresa Minera ARUNTANI SAC”, geológicamente presenta un depósito diseminado epitermal de alta sulfuración, con presencia de rocas volcánicas cortadas por brechas hidrotermales, en la que se concentra principalmente óxidos de hierro que actúa como alimentadores de oro del cuerpo mineralizado, razón por la cual tienen valores naturales elevados de metales pesados, pH ácido, y sulfatos.

Según Huisa (2015), en su tesis de investigación *“Análisis de la pequeñas concesiones mineras y la actividad minera informal a pequeña escala de la región Puno y su implicancia en la gestión ambiental y social”* la presunción de la falta del diagnóstico de la minería a pequeña escala de la Región Puno conllevó a una percepción negativa de la realidad de la actividad minera a pequeña escala en la Región Puno. Se presenta un diagnóstico y análisis de las concesiones mineras y la actividad minera informal y su implicancia en la gestión ambiental y social para la formalización y reducir los impactos ambientales y sociales obedeciendo al incremento de los petitorios y concesiones mineras y al crecimiento de la actividad minera informal e ilegal de la minería artesanal y pequeña minería en la región Puno en estos últimos años, y permita desarrollar una actividad minera con excelencia Ambiental y Social en el marco de la política ambiental del Estado.



Proponemos facilitar la formalización y fiscalización a la minería a pequeña escala de acuerdo a su escala de explotación, para reducir el número de los mineros informales, fortalecer e implementar las acciones técnicas y legales, haciendo competentes a las instituciones vinculadas con la actividad de la minería a pequeña escala principalmente la Dirección Regional de Energía y Minas del Gobierno Regional Puno. Proponer un Plan Regional de gestión ambiental y social en minería a pequeña escala donde se realiza actividades mineras informales y planear los monitoreos ambientales participativos y relaciones comunitarias.

Según, Cuentas (2019) en la revista de Medio Ambiente y Minería *“Evaluación de Riesgos de Pasivos Ambientales Mineros en la Comunidad de Condoraque - Puno.”* que la minería, genera impactos ambientales y sociales no importa donde ocurra. En el pasado generalmente no se realizaba el cierre de las minas y solo se abandonaban; generándose los llamados pasivos ambientales mineros (PAMs). En la Comunidad de Condoraque se encuentra la mina Palca XI, importante productor de tungsteno en el pasado, en la zona existen importantes PAMs que constituyen un riesgo permanente y potencial para las personas, el ambiente y las actividades económicas de la comunidad. El objetivo del proyecto fue la evaluación simplificada de riesgos por contaminación utilizándose la metodología propuesta por Golder Associates. Se identificaron siete PAMs. Los resultados indican que, el drenaje que fluye de la rampa San Marcelo y la infiltración del mismo en la capa freática tiene índices de probabilidad de ocurrencia alto, pero sus consecuencias son: alta con respecto a la vida acuática, moderada con respecto a la vida terrestre, baja con respecto a las personas y despreciable con respecto a la agricultura y la ganadería; El depósito de relaves y el botadero de desmonte presentan un índice de probabilidad de ocurrencia medio y con consecuencias bajas para las personas, el ambiente y las actividades económicas; El bofedal presenta impactos negativos de los



efluentes ácidos que han discurrido sobre el mismo proveniente de la laguna Choquene; Los restos de infraestructura presentan ocurrencia y consecuencias bajas, en algunos casos despreciables. Finalmente, se recomienda la evaluación de riesgo detallado con respecto a personas, bofedales, fauna terrestre y acuática y la actividad ganadera de la zona.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Categorías de drenajes de mina

Para determinar el tipo de drenaje es necesario hacer un estudio detallado de las condiciones físicas del medio, el clima de lugar y una caracterización de los efluentes de mina, para ello, se realizan muestreos de agua y sedimentos para su análisis en laboratorio y determinar las concentraciones metálicas presentes, también se recurre a la medición in-situ de parámetros como: pH, contenido de oxígeno, potencial redox, conductividad, temperatura, Fe, acidez/alcalinidad, turbidez y otros (Aduvire 2006).

Tabla 1: Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales.

	pH	Descripción
Acido	<6	<ul style="list-style-type: none">- Acidez generada por oxidación de minerales, particularmente de sulfuros.- Nivel de metales disueltos es mayor que en drenajes casi neutros.- Asociado a minas metálicas, carbón y pirita.
Alcalino	>9 ó 10	<ul style="list-style-type: none">- Alta alcalinidad generada por disolución de minerales básicos, particularmente óxidos, hidróxidos y algunos silicatos.- Niveles de algunos metales como el Al son mayores que en los drenajes casi neutros.- - Asociado con minería de diamantes, molienda de bauxita, cenizas de combustión de carbón.
Casi neutr	6 – 9 ó 10	<ul style="list-style-type: none">- Dependiendo de la abundancia de los minerales, en determinados periodos pueden ser ácidos o alcalinos.- Concentración de metales disueltos algunas veces puede exceder niveles tóxicos.
Otros	Irrelevante	<ul style="list-style-type: none">- Puede afectar la concentración de metales.- Asociado a minería no metálica como: potasa, sales, boratos, bentonitas, gravas, arcillas, etc.

Fuente: Morin & Hutt, (2001).

2.2.2 Drenaje acido

El drenaje ácido de mina (DAM) es la consecuencia de la oxidación de algunos sulfuros minerales (pirita, pirrotita, marcasita, etc.) en contacto con el oxígeno del aire y agua:



Sulfuro mineral + Oxígeno + Agua = Sulfato + Acidez + Metal

También otros oxidantes como hierro férrico pueden reemplazar al oxígeno del aire en la reacción y en algunos casos al oxígeno del agua:

Sulfuro mineral + Hierro férrico + Agua = Sulfato + Acidez + Metal

Según los autores, (Nordstrom & Alpers, 1999) describen el proceso de oxidación de la pirita como principal responsable de la formación de aguas ácidas y afirman que estas reacciones se aceleran en áreas mineras debido a que el aire entra en contacto con los sulfuros a través de las labores de acceso y la porosidad creada en las pilas de estériles y residuos, unido a ello el cambio de composición química y el incremento de la superficie de contacto de las partículas.

2.2.3 Drenaje ácido de mina (DAM)

El drenaje ácido de mina es la acidificación del agua superficial y subterránea en una mina al estar en contacto con minerales metalíferos en las labores mineras, diques de cola y/o escombreras (Kirschbaum & Murray, 2011).

Asimismo es agua con niveles de pH bajos (en general $\text{pH} < 4$), con altos contenidos de Fe^{+2} SO_4^{2-} disueltos, presentan elevada conductividad eléctrica, grandes cantidades de metales en solución que son potencialmente tóxicos como As, Cd, Pb, Zn, Cu, Hg, Sb, Se, etc. Lottermoser, (2007). Sin embargo, las concentraciones de metal en el drenaje ácido dependen del tipo y cantidad de minerales sulfuros presentes, y la calidad total del agua de las áreas perturbadas depende de los minerales productores de ácido (sulfuro) y neutralizantes de ácidos (carbonato) contenidos en la roca perturbada. Por lo tanto, los materiales ricos en sulfuros y carbonatos pobres producen drenaje ácido, mientras que los materiales ricos en carbonatos producen condiciones alcalinas en el drenaje Skousen, (2002).

Tabla 2: Tipos de drenajes de mina.

Tip	pH	Descripción
I	<4,5	<ul style="list-style-type: none">- Alta concentración de Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, y otros metales.- Alto contenido de oxígeno.- Muy ácido (llamado DAM).
II	<6,0	<ul style="list-style-type: none">- Alta cantidad de sólidos disueltos.- Alta concentración de ión Fe y Mn.- Bajo contenido de oxígeno.- Por oxidación, el pH del agua baja drásticamente hasta convertirse en tipo I.
III	>6,0	<ul style="list-style-type: none">- Moderada a alta cantidad de sólidos disueltos.- Bajo a moderado contenido de ión ferroso Fe y Mn.- Bajo contenido de oxígeno.- Alta alcalinidad (llamado DAM). Por oxidación de metales la acidez generada es neutralizada por la alcalinidad presente en el agua.
IV	>6,0	<ul style="list-style-type: none">- Alta cantidad de partículas disueltas.- Drenaje neutralizado, pero todavía no se han fijado los hidróxidos en el agua.- A mayor tiempo de residencia en las balsas mayor fijación de partículas y el agua puede llegar a ser de tipo V.
V	>6,0	<ul style="list-style-type: none">- Agua del drenaje es neutralizado.- Alta cantidad de sólidos disueltos.- Gran cantidad de hidróxidos precipitados y fijados en las balsas.- Cationes restantes son disueltos por Ca y Mn.- Oxi-aniones solubles como bicarbonato y sulfato quedan en la solución.

Fuente: Skousen & Ziemkiewics, (1996)

Por tanto, los drenajes de entornos mineros pueden ser ácidos o alcalinos, pueden degradar el hábitat acuático y cambiar la calidad de las aguas debido a su toxicidad, corrosión y otros efectos producidos por la disolución de sus constituyentes.

a. ¿Qué características presentan las aguas ácidas?

- pH bajo (valores de pH entre 7 y 1,5); asociado a una acidez creciente en el tiempo y una alcalinidad decreciente.

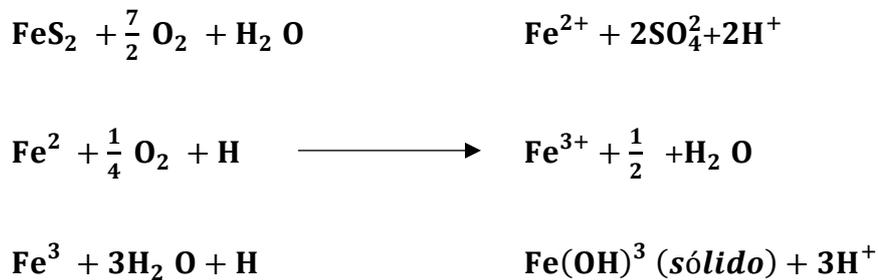


- Concentraciones elevadas de sólidos disueltos totales (SDT); de sulfato (> 2.000 mg/L), de hierro y otros metales. Alcalinidad decreciente y acidez creciente (López, 2016).

b. Formación de las aguas ácidas

La formación de aguas ácidas tiene lugar a partir de la oxidación química de los sulfuros, acelerada en muchos casos por la acción bacteriana. Los principales elementos que intervienen son: los sulfuros reactivos, el oxígeno y el agua (vapor o líquida), y como elemento catalizador las bacterias (Aduvire, 2006).

Según United States Environmental Protection Agency (US EPA), explican las reacciones que se producen en la generación ácida a partir de la oxidación de la pirita (FeS₂), por ser uno de los sulfuros minerales más comunes que acompañan a las menas de interés económico. Estas reacciones son:



c. Etapas en la formación de aguas ácidas

El proceso de formación de aguas ácidas, en su conjunto, también se puede explicar en tres etapas, como se observa en la Fig. 1

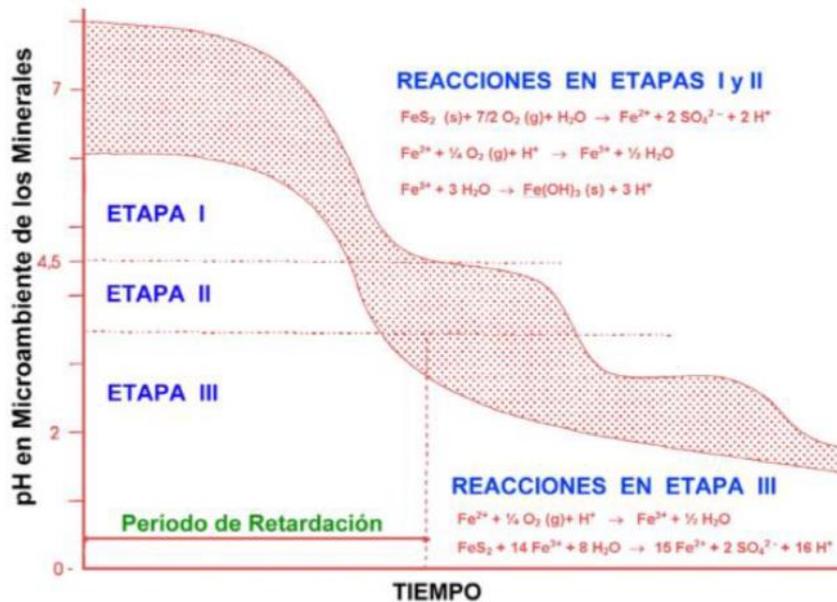


Figura 1: Etapas en la formación de aguas ácidas.

Fuente: Aduvire, (2006).

- Etapa I

Los minerales sulfurados son oxidados químicamente por el oxígeno del aire. El producto de esta reacción es sulfato, hierro ferroso y ácidos (ión H^+). En el rango normal de pH de suelos y aguas (pH 5-7) los minerales liberados por el desgaste de minerales generalmente precipitan y están relativamente inmóviles, debido a que los minerales alcalinos como la calcita (CaCO_3), presentes en la matriz de la roca neutralizan la acidez y originan la oxidación y precipitación del hierro como óxido o hidróxido.

A medida que los minerales alcalinos se consumen o encapsulan por cubiertas de precipitado, disminuirá el pH en el área en torno al sulfuro, pasando a la siguiente etapa.

- Etapa II

El pH del microambiente ha disminuido hasta 4.5; por lo que ocurren reacciones de oxidación tanto químicas como biológicas.



Si la oxidación continua hasta que se haya agotado todo el potencial de neutralización, se presentará valores de pH por debajo de 3.5. Existen concentraciones elevadas de hierro ferroso y sulfato y pese a la acidez relativamente alta, las concentraciones de metales en la solución pueden ser bajas.

- **Etapas III**

Las reacciones de oxidación catalizadas por bacterias aumentan. Se producen hierro ferroso, que se oxida biológicamente a hierro férrico, el cual se convierte en el oxidante dominante, remplazando al oxígeno y el drenaje se vuelve aún más ácido producto de la oxidación de sulfuros metálicos. (ZnS, PbS, etc), con mayores concentraciones de metales disueltos. La velocidad de oxidación es considerablemente más rápida que en la etapa I. Mediante estudios se ha podido observar que el aumento de las velocidades es de 10 a 1 millón de veces más.

2.2.4 Tratamientos para el DAM

a. Tratamiento por métodos activos

Las técnicas de tratamiento activo son las que requieren una operación, mantenimiento y monitoreo continuo y utilizan para su funcionamiento energía externa (energía eléctrica) y reactivos (Montesinos, 2017).

Consisten básicamente en una planta en la que se regula el pH del agua a través de diferentes reactivos como: cal, óxido de calcio, hidróxido de sodio, etc. Este tipo de tratamientos requieren de la adición continua de los reactivos y de dispositivos mecánicos para mezclar los reactivos con el agua, además de mantenimiento y monitoreo activos (Cervantes, 2014).

Este tipo de tratamiento es mayormente utilizado en minas operativas y su ventaja principal radica en que puede ser aplicado para tratar grandes caudales y cualquier tipo



de acidez, siendo además adaptable a cambios en la química del agua que pudiera darse durante el avance del minado. Si bien este tipo de tratamiento no requiere de grandes áreas para su infraestructura, su costo de inversión es elevado pues implica el montaje de una planta de tratamiento químico con diversos equipos como tanques, clarificadores, bombas entre otros. Así mismo, por ser de operación continua, su costo operativo considerará la adición rutinaria de reactivos requiriendo el monitoreo permanente del personal. Entre los métodos de tratamiento activo más comunes tenemos: Control de pH o neutralización/precipitación, intercambio iónico, métodos electroquímicos, procesos de membrana como la filtración, ósmosis inversa, etc. Montesinos (2017).

b. Tratamiento por métodos pasivos

Las técnicas de tratamiento pasivo son aquellas donde la intervención del hombre es mínima tanto en la parte operativa (no requiere adición rutinaria de reactivos) como en la parte de mantenimiento (Montesinos, 2017).

Los sistemas de tratamiento pasivos como los humedales se caracterizan por utilizar elementos naturales que permiten regular el pH, además de procesos químicos y biológicos para retener los elementos metálicos en solución. Se basan en la energía suministrada por la luz solar y/o el medio ambiente (Montesinos, 2017).

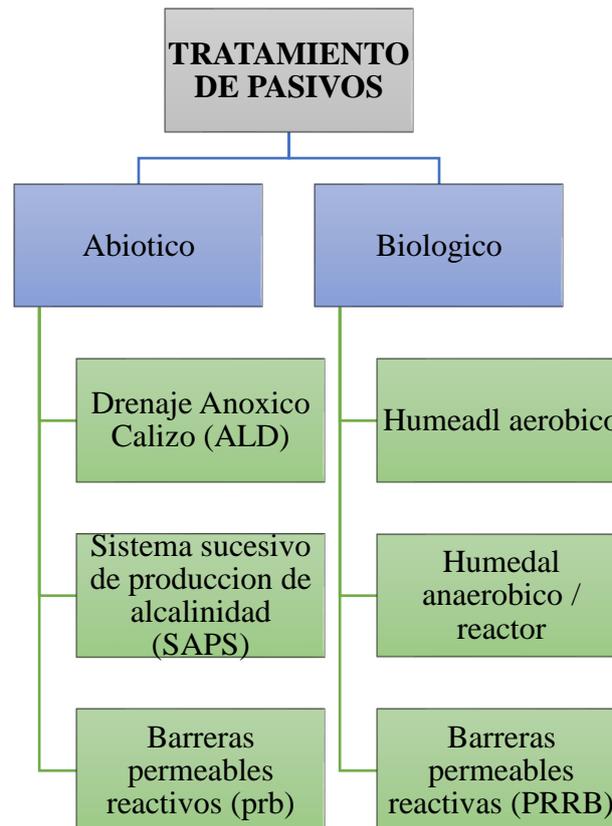


Figura 2. Tratamiento de pasivos

Fuente: Aduvire.

2.2.5. Influencia del carbonato de calcio en la precipitación del aluminio

Para neutralizar aguas ácidas con presencia de metales, se realiza con la adición de alcalizantes como la caliza triturada (carbonato de calcio). En este caso el aluminio al entrar en contacto con el carbonato de calcio, precipita en el agua a un pH de 5,5 en forma de hidróxidos, tal como se muestra en la siguiente reacción:



Donde se forma el precipitado de hidróxido de aluminio más iones de calcio y ácido carbónico. Volviéndose otra vez soluble a pH superior a 8,5 (Aduvire, 2006).

2.2.6. Tipos de contaminación de agua a causa de la minería

Existen cuatro tipos importantes de impactos mineros en cuanto a calidad de agua:



a. Drenaje ácido de la minería.

El drenaje de roca ácida (DRA) es un proceso natural a través del cual el ácido sulfúrico se produce cuando los sulfatos de las rocas son expuestos al aire libre o al agua. El drenaje de la minería ácida (DAM) es esencialmente el mismo proceso, solo que magnificado. Cuando las grandes cantidades de roca que contienen minerales sulfatados, son excavadas en tajo abierto o en vetas en minas subterráneas, estos materiales reaccionan con el aire o con el agua para crear ácido sulfúrico. Cuando el agua alcanza cierto nivel de acides, un tipo de bacteria común llamada “*Tiobacillus Ferrooxidante*”, puede aparecer acelerando los procesos de oxidación y acidificación, lixiviando aún más los residuos de metales de desecho. El ácido lixiviará la roca mientras que la roca fuente este expuesta al aire y al agua.

Este proceso continuará hasta que los sulfatos sean extraídos completamente; este es un proceso que puede durar cientos, o quizás miles de años. El ácido es transportado desde la mina por el agua, las lluvias o por corrientes superficiales, y posteriormente depositado en los estanques de agua, arroyos, ríos, lagos y mantos acuíferos cercanos. El DAM degrada severamente la calidad del agua y puede aniquilar la vida acuática, así como volver el agua prácticamente inservible.

b. Contaminación por metales pesados y lixiviación.

La contaminación por metales pesados es causada cuando algunos metales como el arsénico, el cobalto, el cobre, el cadmio, el plomo, la plata y el zinc, contenidos en las rocas excavadas o expuestos en vetas en una mina subterránea, entran en contacto con el agua. Los metales son extraídos y llevados río abajo, mientras el agua lava la superficie rocosa. Aunque los metales pueden ser movidos en condiciones de pH neutral, la



lixiviación es particularmente acelerada en condiciones de pH bajo, tales como las creadas por el drenaje ácido de la minería.

c. Procesando la contaminación química.

Este tipo de contaminación ocurre cuando algunos agentes químicos (tales como el cianuro y el ácido sulfúrico, utilizados por compañías mineras para la separación del material deseado, del mineral en bruto) se derraman, gotean, o se trasladan del sitio minero a un cuerpo de agua cercano. Estos químicos pueden ser también altamente tóxicos para los humanos y la fauna.

d. Erosión y sedimentación.

El desarrollo minero perturba el suelo y las rocas en el transcurso de la construcción y mantenimiento de caminos, basureros y excavaciones a la intemperie. Por la ausencia de prevenciones adecuadas y estrategias de control, la erosión de la tierra expuesta puede transportar una gran cantidad de sedimentación a arroyos, ríos y lagos. La sedimentación excesiva puede obstruir riveras, la delicada vegetación de estas y el hábitat para la fauna y organismos acuáticos. De Rosa, James, *Ibíd.* pp. 61-75.

2.2.7. Rocas calizas

Son compuestos no metálicos y se encuentra en la corteza terrestre en forma de rocas sedimentarias, compuestas principalmente por carbonato de calcio (CaCO_3), con impurezas de alúmina, sílice y magnesio.

Por su parte Gálvez (2003), establece que la caliza es una roca compuesta por varios minerales, pero principalmente por el mineral calcita que tiene como principal componente el carbonato de calcio.

Tabla 3: Clasificación de calizas según el contenido de CaCO_3 .

Descripción	Porcentaje de calcio (CaCO_3)
De muy alta pureza	>98.5
De alta pureza	97.0 – 98.5
De media pureza	92.5 – 97.0
De baja Pureza	85.0 – 92.5
De impureza	<85.0

Fuente: Adaptado de León (2011).

2.2.8. Carbonato de calcio (CaCO_3)

Es un compuesto de la roca caliza que forma al menos el 50% de las rocas, en forma de calcita, además se disuelve con mucha facilidad en aguas que contienen dióxido de carbono (CO_2) gaseoso disuelto, formando el bicarbonato de calcio [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$], compuesto intermedio de alta solubilidad (Gonzales & Ticona, 2016). Por su parte Gálvez (2003), establece que la presión atmosférica aumenta la solubilidad de los carbonatos y la temperatura la disminuye.

Asimismo, Claramunt (2013) afirma que en un medio ligeramente ácido, las rocas calizas convierten al carbonato de calcio y carbonato de magnesio en carbonatos ácidos solubles de los mismos, por acción de las aguas ligeramente ácidas sobre los poros de la roca caliza. Posterior a ello al incrementar la temperatura de las rocas calizas, éstas se descomponen en óxidos metálicos. Así menciona que para tener mayor eficiencia en la carga adhesiva de los carbonatos de calcio, deben tener ciertas características en cuanto a su composición química y propiedades físicas.



a. Composición química

Según Sepulcre (2000), establece que está determinada por la formación y naturaleza de la cantera de donde se ha extraído el mineral. Adicional a ello, para que tenga una mayor carga adhesiva el carbonato de calcio debe tener elevada pureza (>98%), bajo contenido en metales pesados para evitar que se catalicen procesos de envejecimiento, bajo contenido en sílice (cuarzo) y otros silicatos y contenido bajo de carbonato de magnesio (inferior a 1% en peso).

Por su parte (Gonzales & Ticona 2016), indican que las rocas calizas están formadas por una serie de compuestos químicos, pero en mayor porcentaje de carbonato de calcio y carbonato de magnesio.

b. Propiedades físicas

Según Sepulcre (2000), los más relevantes son la distribución granulométrica y la superficie específica. Como se describen a continuación:

- **Distribución granulométrica:** Está determinada por el método de molienda, clasificación y dureza de la roca. Además de ello está en función a la preparación y uso que se le dará al adhesivo aplicado (brillo, resistencia al impacto, adhesión, forma de aplicación, etc); ya que no existen dos tipos de carbonato de calcio con distribución granulométrica exactamente iguales ni tampoco con composición química idénticas.

- **Superficie específica:** Se refiere a la cantidad de partículas finas existentes en el carbonato de calcio, ya que para un mismo diámetro promedio, el carbonato de calcio que presente una mayor distribución granulométrica, tendrá mayor superficie específica.

Por su parte Skoog & West (1986), mencionan que la superficie específica de un sólido se define como la superficie exterior por unidad de peso; es decir al reducir el



tamaño de las partículas, su superficie específica aumenta, llegando a ser enorme cuando se alcanzan las dimensiones de un coloide típico.

Además, López (2016) indica que, el potencial de neutralización de las rocas será mayor, cuanto menor sea el tamaño de la roca, ya que, de esta forma, la superficie de contacto con el drenaje ácido de mina aumenta. Además menciona que cuanto menor sea el tamaño de las rocas, éstos están sujetos a ser arrastrados por el flujo y económicamente resulta un gasto mayor.

c. Solubilidad del carbonato de calcio (CaCO_3)

Según, Lottermoser (2007) indica que en una reacción de neutralización en un sistema aislado, la disolución de la calcita es menor, al haber ausencia de CO_2 ; mientras que en un sistema abierto, al estar en contacto la solución con el dióxido de carbono disuelto, la calcita es disuelta con mayor rapidez.

Además, en (Morin & Hutt, 2001) (como se citó en Villanueva y Sánchez, 2013), declaran que la ratio de disolución de la caliza está en función del flujo y pH del agua, así como del contenido de Ca y tamaño (superficie específica) de partícula de la caliza.

2.2.9. Canales de roca caliza

Según: Ziemkiewicz, et al (1997), establecieron que para diseñar los sistemas de canales abiertos con roca caliza se debe tener en cuenta ciertas condiciones de diseño, como por ejemplo, bajo caudal de ingreso del drenaje ácido y amplia área de aplicación, de esta forma se garantizará un mayor tiempo de residencia para alcanzar el pH requerido. Además indican que si se cuenta con caudales grandes y áreas transversales de canal relativamente pequeño, resultará ventajoso, ya que el flujo arrastrará parte de los sedimentos que se precipitan en forma de hidróxidos de hierro y aluminio, evitando de esa forma la saturación o recubrimiento de la roca caliza. Las rocas calizas disminuyen

su solubilidad a 1/5 por recubrimiento de la superficie, disminuyendo su efectividad de neutralización hasta un 45% dependiendo del pH de origen.

Villanueva & Sánchez (2013), indican que es un canal cuyo lecho está relleno de caliza por el que fluye el agua a tratar, cuyo objetivo es incrementar el pH y la alcalinidad para disminuir la acidez. El elevado contenido de oxígeno, produce la oxidación e hidrólisis del hierro (Fe) y aluminio (Al) disueltos, que precipitan como oxihidróxidos.

Por su parte López (2016), indica que el tiempo de contacto junto con la magnitud del caudal, las pendientes del terreno, la acidez y composición química inicial del agua ácida, son los factores cruciales para alcanzarse o no la neutralización de la solución. Mientras que Aduvire (2006) indica que el objetivo principal por el cual se usa las rocas calizas en canales, es para controlar el pH y mantenerlo neutro con el fin de controlar oxidaciones químicas y actividades bacterianas.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- Contaminación

Presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o a su vez, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos (Ministerio del Ambiente, 2010).

- Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

Es la medida que establece el nivel de contracción o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos o biológicos, presentes en el aire, agua o suelo,



en su condición de cuerpo receptor, que no representa significativo para la salud de las personas ni al ambiente (Ministerio del Ambiente, 2010).

- **Precipitación**

Es el proceso mediante el cual los iones de los metales solubles y biodisponibles se precipitan del agua ácido en forma de hidróxidos, para lo cual se hace uso de alcalizantes como la roca caliza (Aduvire, 2006).

- **Cuenca**

Se denomina como cuenca hidrográfica a un área superficial terrestre impermeable, donde la precipitación se agrupa y se drena a un mismo punto por los canales que drenan, denominado punto de salida. La definición dada anteriormente es referida a una cuenca superficial, ya que existe también a cuenca subterránea que está asociada a la superficial cuya forma es semejante o igual a la superficial, si lo observamos desde el punto de salida, se pueden diferenciar dos tipos de cuencas: la exorreica y las endorreicas. En el primer caso el punto de salida se encuentra ubicado dentro de la misma cuenca la cual generalmente termina en un lago; o como el segundo caso, el punto de salida está ubicado en los límites externos de la misma cuenca, normarme su desembocadura termina en el mar, (Villón, 2004).

- **Agua**

El agua es un líquido compuesto de oxígeno(O) e hidrogeno (H₂) su fórmula es H₂O tiene disuelto diversos minerales y materias orgánica que le dan color, olor y sabor peculiares, se presentan en estado líquido, gaseoso (vapor atmosférico =nubes) solidos hielos (Salgado et al., 2009).

- **Ríos**



Los ríos son sistemas naturales de importancia para el planeta, que, debido al transporte y circulación cíclica del agua, permiten la existencia de los seres vivos, el crecimiento económico y el desarrollo social de una región o un país, lo dice Winship, en el año 1984.

Sedimentos. - es la materia que, después de haber estado en suspensión en un líquido, termina en el fondo por su mayor gravedad. Este proceso se conoce como sedimentación (Binelli et al., 2014).

- **Metal pesado**

Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg), y que presentan un peso específico superior a 4 (g cm⁻³). Cabe destacar que en esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por tanto, de interés minero (Maillera et al., 2016).

- **Arsénico**

El Arsénico es un metaloide de olor aliáceo se obtiene como subproducto en la producción de metales como cobre y plomo.

- **Aluminio**

El aluminio es un elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. Se trata de un metal no ferromagnético. Es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre.

- **Plomo**

Es un metal gris azulado maleable y dúctil. (Fahd et al., 2014).

- **Cromo**



El cromo es un elemento químico de número atómico 24 que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cr. Es un metal que se emplea especialmente en metalurgia.

- **Cobre**

El cobre (del latín cuprum, y éste del griego kypros, Chipre), cuyo símbolo es Cu, es el elemento químico de número atómico 29. Se trata de un metal de transición de color rojizo y brillo metálico.

- **Níquel**

El níquel es un metal pesado de color plateado se genera como sub producto de zinc, plomo y cobre.

- **Zinc**

También escrito cinc, es un elemento químico esencial de número atómico 30 y símbolo Zn, situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos.

- **Cuenca**

La cuenca hidrográfica es un área de la superficie terrestre cuyo desagüe superficial confluye en un río principal.

2.4. MARCO LEGAL

- **Ley N° 28611, Ley General del Ambiente**

Ley promulgada el 13 de Octubre de 2005, es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como



sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

- **Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos**

Esta ley dada el 23 de marzo del 2009, tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada de los recursos hídricos. Comprende el agua (superficial, subterránea y continental; marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable), la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como los bienes asociados a esta.

Entre otros aspectos importantes, la presente ley propicia el cambio en el modo de pensar y en las actitudes sobre el valor, uso y gestión del agua por todos los sectores sociales y productivos, en especial la agricultura, para que su aprovechamiento sea eficiente y productivo, poniendo especial interés en minimizar los impactos en los ecosistemas.

La nueva legislación promueve la mitigación de la contaminación de las aguas, ocasionada por los residuos de los pueblos y ciudades y de las actividades productivas, la industria, la minería, la agricultura, entre otras.

- **D.S. N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas.**

El decreto tiene por objeto regular la gestión las descargas de los efluentes líquidos de las actividades minero-metalúrgicas.

- **D.S. N° 002-2008-MINAM, Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua**

Esta norma, aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de



cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

Estos estándares son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

- **D.S. 015-2015-MINAM, Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.**

Se modificaron los parámetros y valores de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM.

Tabla 4: Categoría 3 riego de vegetales y bebidas de animales.

Parámetro	Categorías Unidad	ECA agua : categoría 3	
		Parámetros para riego de vegetales	Parámetros para bebidas de animales
		D1: riego de cultivos de tallo alto y bajo	D2: bebida de animales
físicos – químicos			
Aceites y grasas	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	518	**
Cianuro Wad	mg/L	0.1	0.1
Cloruros	mg/L	500	**
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)
Conductividad	(uS/cm)	2500	5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.2	0.5
Fenoles	mg/L	0.002	0.01
Fluoruros	mg/L	1	**
Nitratos ($NO_3^- - N$) + Nitritos ($NO_2^- - N$)	mg/L	100	100
Nitritos ($NO_2^- - N$)	mg/L	10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	4	5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.4
Sulfatos	mg/L	1000	1000
Temperatura	°C	Δ3	Δ3
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0.1	0.2
Bario	mg/L	0.7	**
Berilio	mg/L	0.1	0.1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0.01	0.05
Cobre	mg/L	0.2	0.5
Cobalto	mg/L	0.05	1
Cromo Total	mg/L	0.1	1
Hierro	mg/L	5	**
Litio	mg/L	2.5	2.5
Magnesio	mg/L	**	250
Manganeso	mg/L	0.2	0.2
Mercurio	mg/L	0.001	0.01
Níquel	mg/L	0.2	1
Plomo	mg/L	0.05	0.05
Selenio	mg/L	0.02	0.05
Zinc	mg/L	2	24

Fuente: MINAM.



2.5. DESCRIPCIÓN DE LA SUB CUENCA LLALLIMAYO

La sub cuenca Llallimayo está ubicada al norte del departamento de Puno, colindante con el departamento de Cusco. La sub cuenca pertenece a una de las cabeceras de la cuenca Ramis, el cual tiene un área de 1970,77 km² y un perímetro de 283,88 km. La parte de mayor elevación tiene una cota de 5327 m.s.n.m. en el nevado de Lamparasi, y la cota más baja de 3875 m.s.n.m. donde confluye con el río Santa Rosa, y que forman el río Ayaviri.

El cauce principal tiene una longitud total de 84,51 km la cual cuenta con una pendiente de 0,0051%, presenta un drenaje de tipo dendrítico con dirección este; los principales causes de la subcuenca son: el Llallimayo, Surapata, Hatunayllu, Cupimayo, Macarimayo, Selque, Cachiunu, Turmana, Jayllahua, Sayna, Ocuvi y Vilcamarca, las importantes lagunas presentes la subcuenca son: Chullpia (trasversada de la cuenca de Apurímac), Saguanani, Martarcocha Iniquilla, y Calera. Finalmente, los nevados presentes son el Lamparasi, Oscollani y Quilca. Autoridad Nacional del Agua (2017).

La sub cuenca se encuentra dentro de la provincia de Melgar el cual fue proclamado en año 2013 como “Capital Ganadera del Perú” mediante la promulgación de la Ley N° 30031, ya que los pobladores se dedican en su mayoría a la producción agropecuaria, teniendo un aproximado de 806,845 cabezas de ganado.

El recurso hídrico de la sub cuenca Llallimayo son aprovechadas por los pobladores para llevar acabo sus actividades socioeconómicas, a fin de mejorar el rendimiento de su producción, se implementan pastos cultivados, en las áreas accesibles, se implementan pastos exógenos como: trébol, alfalfa, raigrás, avena forrajera, cebada forrajera remplazando los pastizales en áreas nativas que contienen: (chilliwares, crespillo, entre



otros) , de esta manera mejorando el rendimiento en la ingesta de sus animales, mejorando la eficacia de masa – energía en sus alimentos.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

3.1.1. Ubicación

La investigación se ejecutó en la zona alta de la cuenca Llallimayo en la jurisdicción del distrito de Ocuvi, Provincia de Lampa, departamento de Puno -Perú (Rio Chacapalca) vertimiento de efluente liquido asociados de la Unidad Minera Arasi SAC., propiedad de la empresa minera Aruntani S.A.C, encargada de las operaciones de explotación a tajo abierto; Con coordenadas UTM promedio: 8311669 E 300473 N 4450 A, ZONA 19 sur. El proceso de monitoreo de la calidad de agua superficial se ejecutó durante el periodo desde abril hasta noviembre del 2020.

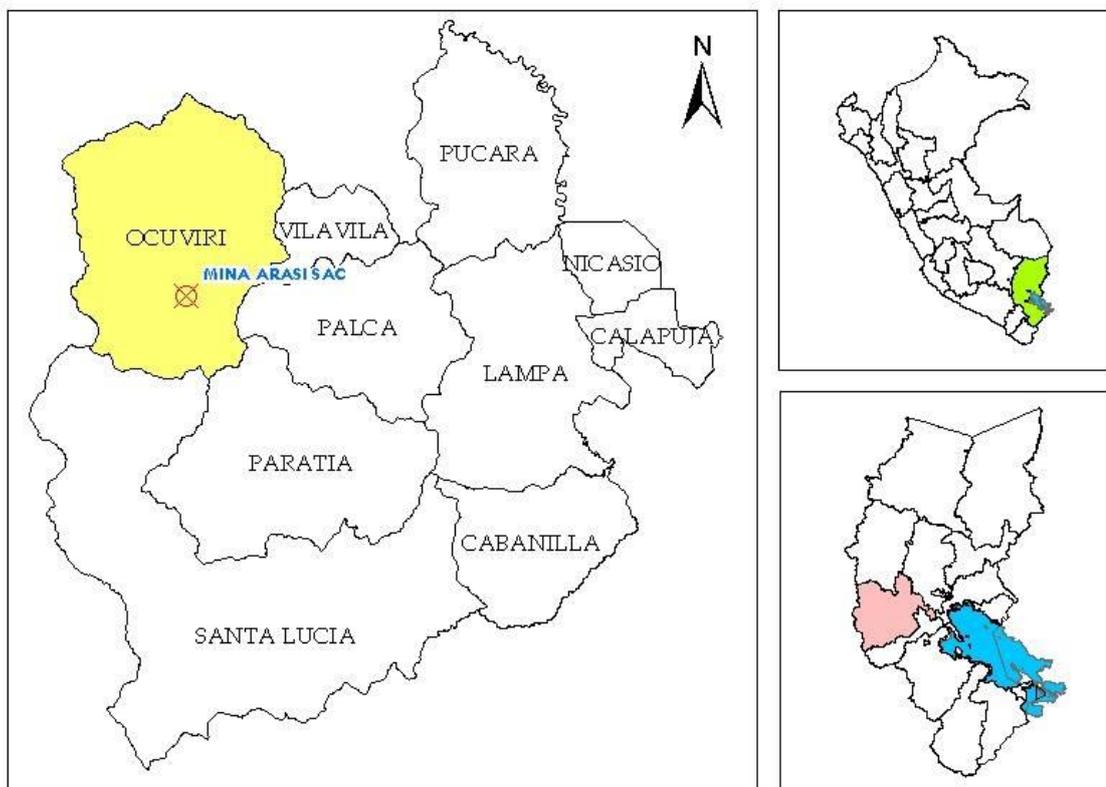


Figura 3: Macro localización zona de estudio

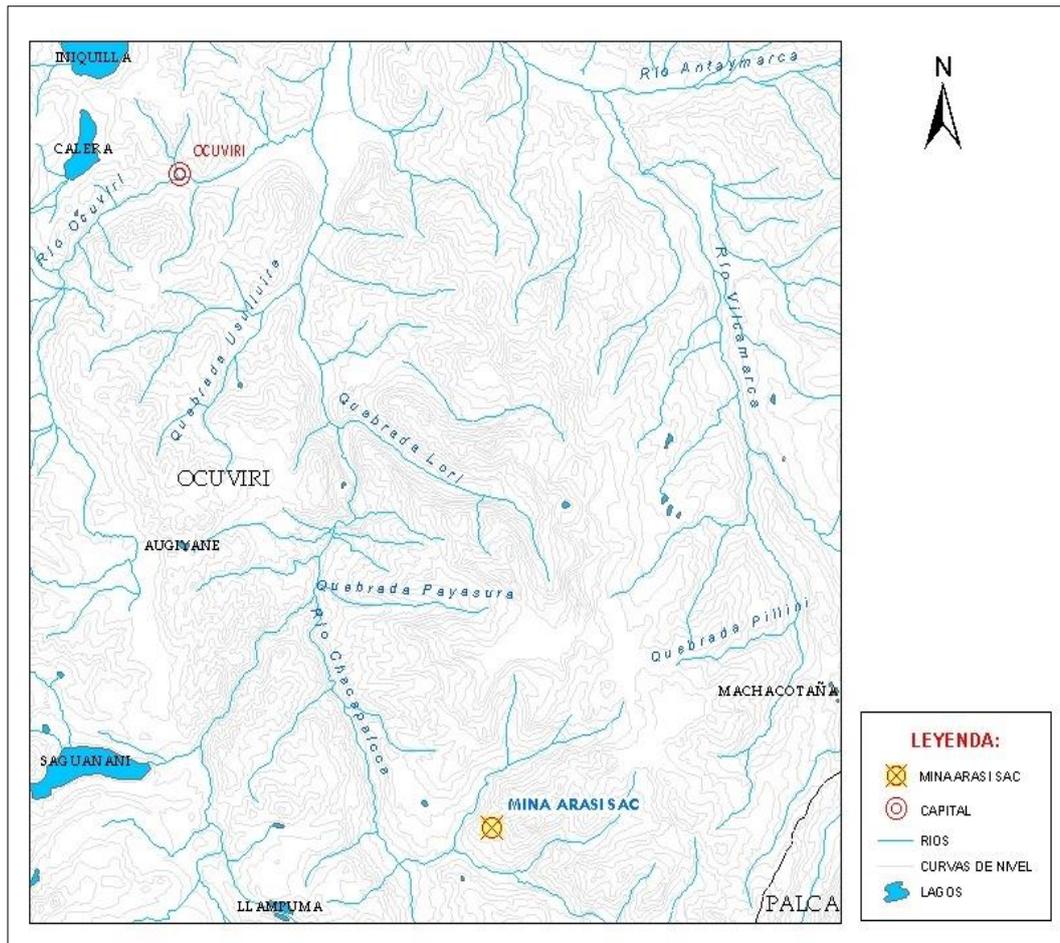


Figura 4: Sub cuenca de rio Llallimayo.

3.1.2 Tipo de yacimiento

Ácido sulfato conteniendo oro diseminado.

3.1.3 Acceso

Por la ciudad de Juliaca, continuando hasta Lampa en un recorrido de 30 kilómetros, continúa hacia Palca, Vilavila, Chivay y trocha carrozable hacia el (Rio Chacapalca), haciendo un recorrido total de 120 kilómetros y empleando un tiempo estimado de 2 horas y 50 minutos.

Cuadro 1: Vías de comunicación terrestre ruta Juliaca

Provincia	Tramo	Distancia (km)	Tipo de vía
Puno	Puno - juliaca	45	asfaltada
San Román	Juliaca - Lampa	33	Asfaltada
Lampa	Lampa - Palca	35	Afirmada
Lampa	Palca - Vilavila	18	Afirmada
Lampa	Vilavila -Chivay	20	Afirmada
Lampa	Chivay – Rio Chacapalca	20	Trocha carrozable

3.1.4. Clima

El clima de la zona es primordialmente seco y frígido, típico de la puna, con dos estaciones muy bien marcadas: verano e invierno. La estación de verano se caracteriza por presentar precipitaciones pluviales intensas durante los meses de Noviembre y se extiende en algunos casos hasta el mes de Abril, también se observa la presencia de tormentas eléctricas y precipitaciones sólidas.

La estación de invierno se caracteriza por estar carentes de lluvias así como no presentar cambios térmicos invernales definidos, la temperatura promedio que se presenta es extremadamente baja y que varía de 6°C hasta 0°C, llegando inclusive a temperaturas mínimas por debajo de los 0°C., la intensidad de la temperatura varía en ciertas épocas del año y presentando heladas en los meses de Mayo a Julio, como fuertes vientos generalmente entre los meses de Agosto y Setiembre. Las bajas temperaturas de la zona van a permitir la disminución considerable del contenido de oxígeno por la presión atmosférica, presentando el soroche por encima de los 4500 m.s.n.m., la temperatura promedio anual en la zona es del orden de los 9°C, las precipitaciones han llegado en algunos sectores hasta un promedio medio anual de 1000 mm. La temperatura de la zona oscila entre los -4 °C y los 15°C en promedio.

3.1.5 Recursos naturales

En la zona de área de influencia directa se exponen pastos naturales, musgos, el ichu se expone por encima de los 4000 m.s.n.m., los lugareños lo utilizan como alimento para los animales del sector, o en algunos casos el ichu se transforma en yareta y lo utilizan como combustible para cocinar, se exponen también arbustos resaltando la chilligua y tola, debido al clima reinante son muy escasas las zonas de cultivo de pan llevar, siendo utilizados los pequeños valles y laderas empinadas para el cultivo local, también crece en la zona los pajonales alto andinos, Chiliwa, Cola de zorro, Iro, Taya. Taya, Chijchipa, Grama dulce, Grespillo, Sicusa, Champa, Saucó Qolli, Queñua, Muña, Menta. Teniendo en cuenta la parte de la sub cuenca de río llallimayo se exponen pastos cultivados como: Avena, alfa alfa, ryegrass y especialmente para ganado vacuno de genética mejorada.



Figura 5: Recursos naturales



3.1.6. Ganadería

En la zona de área de influencia directa se exponen más común está caracterizada por el zorro andino, zorrino, vizcachas, venado, vicuña, picaflor, paloma, camélidos sudamericanos, principalmente alpacas, llamas, vacunos y ovinos.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.2.1 Población:

Para el presente trabajo de investigación, la población estuvo conformada por la sub cuenca del rio Llallimayo de la provincia de Melgar, región Puno.

3.2.2 Muestra

Para la muestra se ha considerado las 120 litros de agua ácida provenientes de un pasivo ambiental en la comunidad Hatun ayllu del rio Chacapalca con coordenadas UTM este 299039.65 norte 8315631.9.

Para el estudio se utilizó el muestreo probabilístico; muestreo aleatorio simple, siendo esta un procedimiento que consiste en seleccionar una muestra de tamaño n , de una población de tamaño N elementos, de tal manera que cada elemento tiene la misma probabilidad de pertenecer a la muestra.

3.3 DISEÑO ESTADÍSTICO

En la investigación el diseño estadístico que se aplicó es experimental, porque se basa en la observación o medición de las variables dependientes para determinar las causas que tiene relación con las variables independientes, se trabajó con los datos actuales sin la manipulación de estos, la prueba de medición estadística es la “t” de Student con un intervalo de confianza de 95%. Siendo la razón más apropiado. Hernández et al., (2014). Para ello se verificó la prueba de normalidad mediante la prueba



de Shapiro-Wilk para muestras pequeñas menores a 50 muestras, en sus diferencias antes del tratamiento y después tratamiento.

3.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación es experimental, porque se realizó los ensayos de calidad de agua superficial en “in situ” y en el laboratorio aplicando roca caliza (carbonato de calcio), en la sub cuenca del río Llallimayo, en el que se trata de comprobar la hipótesis planteada del proyecto.

3.4.1 Diseño de investigación:

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, el diseño de la investigación fue correlacional debido a la prueba de parámetros físico químicos y parámetros inorgánicos con pruebas antes y después del tratamiento, planteados en los objetivos, por cuanto su propósito es evaluar la correlación que existe entre (Problema, Objetivo, Hipótesis y Conclusión).

3.4.2 Método de investigación

En cuanto a la metodología de investigación se empleó métodos cuantitativos continuos, por los datos tomados antes y después del tratamiento, dicha investigación es aplicada in situ con la evaluación de calidad de agua y trabajo de gabinete (ensayo), de calidad de agua superficial propuesta en el tratamiento de drenaje de ácido mina (DAM), con fines de elevación de pH y disminución de lixiviados encontrados en el río Llallimayo generado por la unidad minera Arasi de la empresa Minera Aruntani S.A.C. - Puno.

3.4.3 Procesamiento de datos

La información recopilada en el campo, toma de muestras, según parámetros de drenaje ácido mina en aguas superficiales, de los ensayos realizados aplicando roca caliza (carbonato de calcio), en la sub cuenca del río Llallimayo y posterior a ello se procesó los



datos en, **Laboratorios Analíticos del Sur Arequipa I.R.L. (acreditado por INACAL)**.

En Excel y el estadístico SPSS Versión 25, para la evaluación de los parámetros con pruebas de normalidad, prueba “t” de student y la prueba de correlaciones emparejadas.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Técnicas

La técnica utilizada en la recolección de datos:

- **Observación directa:** Se realizó para la descripción de la zona, corriente del agua ácida y percibir el color del agua.
- **Análisis de documentos:** Bibliografías, Antecedentes, siendo base fundamental para la investigación.
- **Los instrumentos para la recopilación de datos son:** Para el desarrollo del presente tratamiento se tomó 120 litros de agua ácida dividida en 2 muestras para determinar su nivel de pH. Cada muestra fue recolectada en frascos esterilizados especificando el número de muestra, para así empezar con el tratamiento combinado.

3.5.2 Materiales e Insumos

Los materiales e insumos utilizados fueron:

- **Materia Prima:** En las Pruebas experimentales se ha utilizado roca caliza (carbonato de calcio) 93.5 % de pureza, natural de zona de estudio.
- **Reactivos:** Roca caliza (carbonato de calcio), agua acida y agua destilada
- **Materiales y Equipos:** 02 cajas térmicas (Coolers) a temperatura indicada, Vasos precipitados de 500 ml, probetas milimetradas de 500 ml y 1000 ml, frascos de 0.6 L, 1 L para el muestro de agua ácida, erlenmeyer de 500 ml, baldes de 20 L y Guantes.



3.6 VARIABLES DE ESTUDIO

3.6.1 Variables independientes

- Propuesta de sistema de tratamiento
- Roca caliza (carbonato de calcio) (Km/l)

3.6.2 Variables dependientes

- Los Metales totales (mg/l)
- pH (unidad de pH)
- Conductividad Eléctrica (uS/cm)
- Oxígeno Disuelto (mg/l)

3.7 PROCEDIMIENTO

El procedimiento de trabajo se dividió en dos etapas: en primer lugar se procedió a la medición del caudal en *si-tu* seguidamente se tomó en 10 muestras (efluente líquido sin tratar) frascos de vidrio de 0.6 L esterilizados y con rotulo respectivo la cual se dividió en 02 muestras.

- 05 frascos de 0,6 L para determinar parámetros físico químico (pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto).
- 05 frascos de 0,6 L para determinar parámetros inorgánicos (metales pesados).

En segundo lugar se realizó los ensayos en laboratorio externo Laboratorios Analíticos del Sur Arequipa I.R.L. (acreditado por INACAL). Proponiendo un sistema de tratamiento con canal de con roca caliza (carbonato de calcio).

- 40 litros de efluente líquido de la zona monitoreada.



- Utilización de la maqueta canal de roca caliza (propuesta de sistema de tratamiento).
- Roca caliza al 93.5% de pureza (carbonato de calcio).

Finalmente la evaluación de los parámetros físicos químicos e inorgánicos de efluente líquido tratado:

- 05 muestras para determinar parámetros físico químico (pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto).
- 05 muestras para determinar parámetros inorgánicos (metales pesados).

3.8 DESCRIPCIÓN DE MÉTODO POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A continuación detallamos la metodología por cada objetivo

a) Evaluar la calidad físicos y químico del agua en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.

- Diseño experimental

Los ensayos de calidad de agua superficial en “in situ” medición del caudal, para el envío de muestra en los respectivos culers a la ciudad de Arequipa a un laboratorio externo: Laboratorios Analíticos del Sur Arequipa I.R.L. (acreditado por INACAL). Para obtener el resultado de la caracterización del agua ácida (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y metales totales), para lo cual se utilizó el plano de lugar, EPPs completo, coolers, libreta de notas, cuadro de categoría de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

- Preparación de muestra

Para el desarrollo el presente estudio de agua acida en la zona alta de la sub cuenca del río Llallimayo a 45 minutos del distrito de Llalli se ubica el río Chacapalca esto antes en la unión de los ríos Azufrini y Pataqueña, la cual se visualizó el vertimiento de aguas



residuales industriales y domesticas asociados a la actividad minera Arasi SAC. Propiedad de la Empresa Minera Aruntani S.A.C, encargada de las operaciones de explotación a tajo abierto.

- **Procedimiento experimental**

De modo visual se determinó el tramo más favorable para el análisis de agua, y respectivamente la medición de la calidad de agua, se usó GPS para tomar lectura de las coordenadas de los puntos de muestreo, luego se recolecto en un frasco de polietileno la muestra para llevar al laboratorio para, se realizó los análisis en el laboratorio Laboratorios Analíticos del Sur Arequipa – Perú. En donde se determinó la conductividad, la turbidez, el color, pH, metales pesados, solidos disueltos de la muestra.

b) Evaluar calidad físico y químico del agua en los ensayos de laboratorio mediante el uso de roca caliza para neutralizar el drenaje acido en sub cuenca del rio Llallimayo región Puno.

- **Diseño experimental**

Los ensayos de calidad de agua superficial en laboratorio mediante uso de roca caliza (carbonato de calcio), se recolectaron 40 litros de agua acida en recipientes esterilizados del punto de muestre para realizar el tratamiento mediante canales de roca caliza (carbonato de calcio), luego vaciar en culers para el traslado a la ciudad de Arequipa laboratorio externo (Laboratorios Analíticos del Sur Arequipa – Perú), para obtener el resultado de la caracterización del agua ácida (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y metales totales), para lo cual se utilizó, EPPs completo, culers, libreta de notas, cuadro de categoría de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.



- **Preparación de muestra**

Para el desarrollo el presente estudio de agua acida en la zona alta de la sub cuenca del rio Llallimayo a 45min del distrito de Llalli se ubica el rio Chacapalca esto antes en la unión de los ríos Azufrini y Pataqueña, la cual se visualizó el vertimiento de aguas residuales industriales y domesticas asociados a la actividad minera Arasi SAC. Propiedad de la Empresa Minera Aruntani S.A.C, encargada de las operaciones de explotación a tajo abierto.

- **Procedimiento experimental**

Se recolectó 750gr de roca caliza de una calera cercana a zona de un aproximado 2 km, luego se construyó dos cubos rectangulares de 1 m de largo, 20 de ancho y altura 20 cm (diseño de planta).

Por consiguiente en la maqueta se colocó 3 kilogramos de roca compuesta por carbonato de calcio (CaCO_3) por 120 litros de agua a tratar, desde entonces se introduce al interior de la cubo rectangular maqueta provocando la disolución de la roca caliza, como resultado genera alcalinidad y aumenta el pH del agua. Debido a esto se tapa el cubo con pata diseñada con el fin de paletizar para mantener las condiciones anoxicos, desde entonces se consigue incrementar la presión parcial de CO_2 para maximizar la disolución de la caliza.

Por ende el monitoreo se realizó al final del proceso, en consecuencia hasta convertir el agua acida en neutro. De ahí, dejar de fluir por el caño hacia los frascos de vidrio paras su respectivo análisis.

En virtud de los resultados la medición de la calidad de agua, se procedió a recolectar en un frasco de polietileno (muestra) para el respectivo análisis en Laboratorios



Analíticos del Sur Arequipa – Perú. A resultado de: Se determinó la conductividad, la turbidez, el color, pH, metales pesados y solidos disueltos de la muestra.

De acuerdo a los resultados establecidos según el parámetro fisicoquímico y determinación de metales pesados, categoría N° 3 (riego y bebida de animales) de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, por último se usó los software de Auto Cad y Excel, donde se introdujo los datos recolectados en campo y elaboramos: tablas y cuadros, los cuales se reflejan en un gráfico.

c) *Utilizar la técnica mediante el uso de roca caliza para neutralizar el drenaje ácido.*

- **Descripción de la Subcuenca Llallimayo**

La cuenca del río Llallimayo tiene un perímetro de 284 km, su parte más elevada está en la cota 5,327 msnm, en el nevado de Lamparasi y su parte más baja se ubica en la cota 3,894 msnm, donde el río Llallimayo confluye con el río Santa Rosa, limita Santa Rosa y Ayaviri.

La longitud total del río principal es de 88 km resultando una pendiente mínima de 0.16% en las partes bajas a 3.9% en las partes altas, presenta la dirección Este y tiene forma triangular con su base mayor en la línea que unen las lagunas de Ananta y Chullpia y como vértice su salida al río Ayaviri en el sector denominado Chuquibambilla.

El número de orden de la cuenca es 6 y su altura media es de 4,415 msnm. Presenta un suelo de textura media a fina.

Los principales ríos de la cuenca son: Cupimayo, Macarimayo, Turmana, Jayllahua, Sayna, Selque, Cachiunu, Ocuvi, Vilcamarca, Surapata y Hatun ayllu, como lagunas principales tenemos: Chullpia (Transvasado), Iniquilla, Saguanani, Matarcocha y Calera, como nevados principales tenemos: Lamparasi, Oscollani y Quilca.



La precipitación promedio anual es 838 mm y se distribuyen de manera desigual durante el año, produciéndose las mayores precipitaciones en los meses de noviembre a marzo. El caudal medio anual del río Llallimayo es de 26.0 m³/s según la estación hidrométrica limnimétrica denominada Bocatoma Llalli, variando de 90.2 m³/s en el mes de febrero a 3.0 m³/s para el mes de agosto.

La topografía del área de estudio es variada, grandes cañones en las cabecera de los ríos Macari, Llallimayo, Ocuvi (parte alta), que oscilan entre los 4,634 parte media de la subcuencas a 4,892 metros a más; sin embargo por arriba de los 3,890 msnm la topografía del terreno es ondulada.

En esta cuenca se realizaron varios estudios de puntos de aforo y en particular al estudio realizado se tiene 01 punto planteado para su monitoreo obligatorio la misma que se ubica en la zona alta (unión río chacapalca, azufrini y pataqueña) esto antes de la confluencia del río Llallimayo con el río Ayaviri.

- **Diseño experimental**

De acuerdo de los ensayos realizados de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en *in-situ* y respectivamente en laboratorio mediante uso de roca caliza compuesta por carbonato de calcio (CaCO₃) en laboratorios Analíticos del Sur Arequipa – Perú, esto utilizando como resultado para proponer un sistema de tratamiento del drenaje ácido mina. Que es canales de roca caliza.

- **Preparación de muestra**

Se propone en el río Chacapalca (zona alta de la cuenca Llallimayo). La cual se visualizó el vertimiento de aguas residuales industriales y domésticas asociados a la actividad minera de Arasi SAC. Propiedad de la Empresa Minera Aruntani S.A.C, encargada de las operaciones de explotación a tajo abierto.



- **Procedimiento experimental**

De modo visual se determinó el tramo más favorable (área plana) con coordenadas UTM: Este 299039.65 norte 8315631.9 esto para el diseño del Sistema de Tratamientos del Drenaje Acido Mina, cercano a la Unidad Minera Arasi SAC. Propiedad de la Empresa Minera Aruntani S.A.C, donde se determinó el tipo de roca predominante, es la caliza compuesta mayormente por carbonato de calcio (CaCO_3) que se encuentra en una calera cercana a zona de un aproximado 2 km. Después se procedió a determinar cada uno de los parámetros establecidos en el cuadro de la categoría 3 (riego y bebida de animales), Se usó los software Auto Cad y Excel, donde introducimos datos recolectados en campo y elaboramos, tablas y cuadros, los cuales se reflejan en un gráfico.

Tipo de tratamiento

- Pasivo (canales de roca caliza).

Materiales a utilizar

- Roca caliza (carbonato de calcio).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUAR LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICO DE EFLUENTES LÍQUIDOS.

Evaluar la calidad físico químico de efluentes líquidos de la unidad minera Arasi en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.

Tabla 5: Parámetros físico químicos de efluentes líquidos de la Unidad Minera Arasi en la subcuenca del río Llallimayo región Puno.

Parámetros físico químicos	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sin Tratar	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs
Conductividad eléctrica	C	mS/cm o uS/cm	0,958	2 500	5 000	**
pH	pH	Unidades pH	5,38	6,5 – 8,5	6,5 - 8,4	6-9
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	6,5	4	5	**

La tabla 5, muestra resultados de los parámetros físico químicos de efluentes líquidos de la Unidad Minera Arasi en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno, donde el valor del parámetro de la conductividad es alto siendo de 0.958 mS/cm; el pH tiene un bajo valor de 5.38 demostrando acidez y el parámetro de oxígeno disuelto es 6,5mg/L, siendo superior a los ECAs de riego de vegetales y bebida de animales, según (Lottermoser, 2007) la elevada conductividad y el bajo valor de pH, se debe a las reacciones químicas que se produce por la exposición de los sulfuros a la atmosfera (oxígeno y agua), también (López-Vega, 2016) indica que los iones de hidrógeno que se generan en la oxidación e hidrolisis de los metales aportan en bajar el pH del agua. Además, un efluente de carácter ácido ($\text{pH} < 5$), no es adecuado en la naturaleza, debido a que altera, perturba o inhibe los procesos biológicos y químicos que se llevan a cabo, resultando un daño perjudicial en el ecosistema, como la contaminación hídrica.

(Aduvire, 2006) indica que antes de elegir un sistema de tratamiento, se debe proceder a su caracterización geoquímica (pH, oxígeno disuelto, conductividad, metales totales y otros). Por lo tanto se procedió a realizar la caracterización de los efluentes líquidos de la unidad minera Arasi. Antes de utilizar el tratamiento pasivo mediante el uso de roca caliza.

Tabla 6: Parámetros inorgánicos de efluentes líquidos sin tratar de la unidad minera Arasi en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sin Tratar	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs
Aluminio	Al	mg/L	6.16	5	5	**
Arsénico	As	mg/L	0.2341	0.1	0.2	0.1
Bario	Ba	mg/L	0.07354	0.7	**	**
Berilio	Be	mg/L	0.000885	0.1	0.1	**
Boro	B	mg/L	1.557	1	5	**
Cadmio	Cd	mg/L	0.00950	0.01	0.05	0.05
Cobre	Cu	mg/L	1.535	0.2	0.5	0.5
Cobalto	Co	mg/L	0.091879	0.05	1	**
Cromo Total	Cr	mg/L	0.00932	0.1	1	0.1
Hierro	Fe	mg/L	13.2	5	**	2
Litio	Li	mg/L	0.45277	2.5	2.5	**
Magnesio	Mg	mg/L	11.38	**	250	**
Manganeso	Mn	mg/L	0.86201	0.2	0.2	**
Mercurio	Hg	mg/L	0.00041	0.001	0.01	**
Níquel	Ni	mg/L	0.08499	0.2	1	**
Plomo	Pb	mg/L	0.0058	0.05	0.05	0.2
Selenio	Se	mg/L	0.0096	0.02	0.05	**
Zinc	Zn	mg/L	0.3638	2	24	1.5

Según la tabla 6, Los parámetros inorgánicos, los resultados resaltados con negrita que se muestra en la tabla indican que las condiciones iniciales cumplen con los requisitos para la implementación de un sistema tratamiento, se observa que se encuentran por encima de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECAs), a comparación con



los valores que se deben cumplir; según el D.S N°015-2015-MINAM en consecuencia superan los Límites Máximos Permisibles (LMPs), para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N°010-2010-MINAM, tales como se evidencia en Aluminio, Arsénico, Boro, Cobre, Cobalto, Hierro, Manganeso, Níquel, Zinc, donde el riego de vegetales y bebida de animales no son permisibles o el grado de contaminación en la Cuenca Llallimayo se ha tipificado porque los metales pesados identificados superan los límites máximos permisibles (LMPs) de las Estándares de Calidad Ambiental (ECAS).

Tal como refiere el autor (Dalens, 2018) “Empresa Minera Aruntani S.A.C”, geológicamente presenta un depósito diseminado epidermal de alta sulfuración, con presencia de rocas volcánicas cortadas por brechas hidrotermales, en la que se concentra principalmente óxidos de hierro que actúa como alimentadores de oro del cuerpo mineralizado, razón por la cual tienen valores naturales elevados de metales pesados, pH ácido, y sulfatos.

Sin embargo se logró determinar que la afectación de las aguas del río Llallimayo por la operación de la empresa minera Aruntani SAC. Es un problema ambiental muy importante, esto indica que buena parte población de la sub cuenca Llallimayo consume esta agua, ya sea para riego de vegetales y así también bebida de animales, como consecuencia podría causar problemas de salud de la población.

4.2 ANALIZAR LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICO DE EFLUENTES LÍQUIDOS TRATADOS

Analizar la calidad físico químico de efluentes líquidos tratados mediante el uso de roca caliza para neutralizar el drenaje ácido en sub cuenca del río Llallimayo región Puno.

La muestra de efluente líquido sin tratar y tratada fueron analizados por, laboratorios Analíticos del Sur acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL - DA con registro N° LE-050 en el informe de ensayo LAS01-AG-AC-20-00283 y LAS01-AG-AC-20-00284.

Tabla 7: Parámetros de Aluminio antes y después del tratamiento.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente líquido Sin Trata	Efluente líquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Aluminio	Al	mg/L	6.16	3.87	5	5	**	62.8%	37.2%

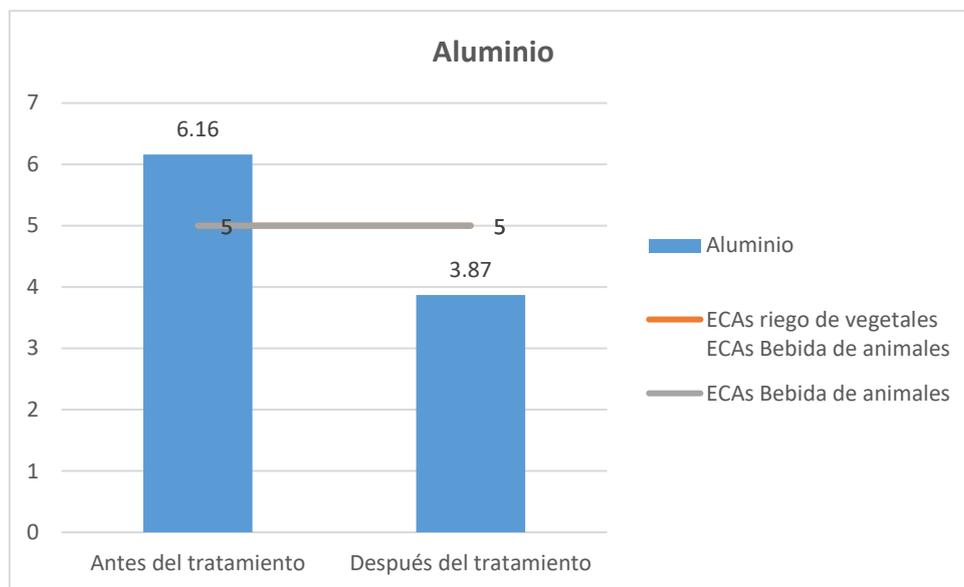


Figura 6: Parámetros de aluminio antes y después del tratamiento.

La tabla 7, muestra de agua ácida contenía un valor de aluminio de 6,16 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 3,87 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 62,8% y el porcentaje no removido es de 37,2%, la cantidad de aluminio presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 5mg/l establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015.MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de Animales, evidenciando que el aluminio no tienen límites máximos permisibles.

Las altas concentraciones de aluminio se presentan en aguas ácidas y se da por la oxidación de los minerales de sulfuro que provocan la liberación del metal traza (aluminio) (Skousen, 2002) generalmente forman hidróxido de aluminio. La precipitación del hidróxido de aluminio se ve regulado por la solubilidad, a pH inferiores a 4 es altamente soluble y la concentración es mucho más alta; sin embargo en pH entre 5 y 8 es altamente insolubles y la concentración baja (Aduvire, 2006), pero se vuelve a ser soluble a un pH superior a 8.5.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

H_a: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 8: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Aluminio.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio antes	,256	5	,200*	,933	5	,615
Aluminio después	,318	5	,109	,880	5	,310

La tabla 8, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

H_a: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Aluminio.

H₀: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Aluminio.

Tabla 9: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Aluminio

	Medi	Diferencias emparejadas				t	g	Sig. (bilateral)
		Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianz de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par Aluminio Antes Después	2,196	,696	,311	1,331	3,061	7,050	,002	

En la tabla 9, nos muestra como resultado la prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.002 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Aluminio.

Tabla 10: Parámetros de arsénico antes y después del tratamiento.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sin Trata	Efluente liquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Arsénico	As	mg/L	0.2341	0.1014	0.1	0.2	0.1	43.3%	56.7%

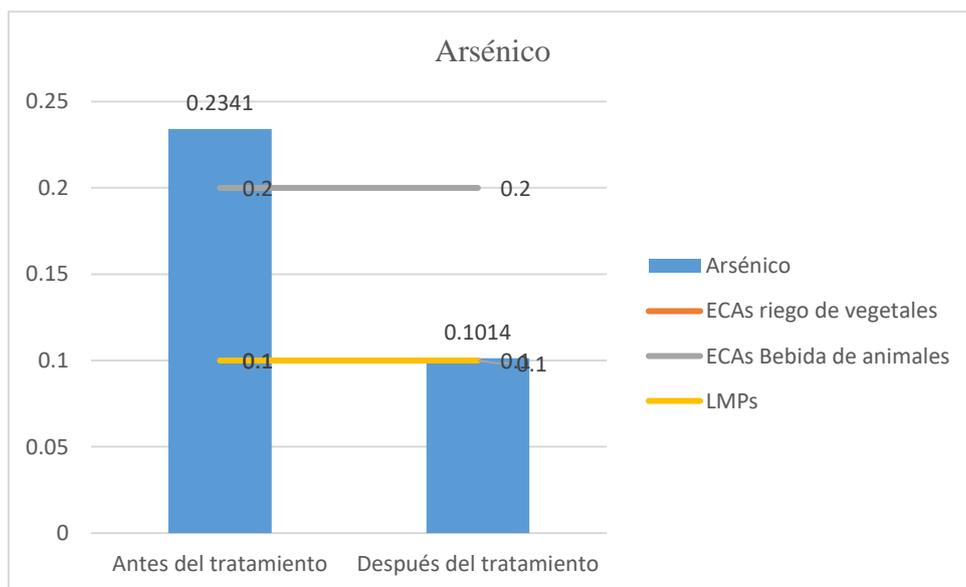


Figura 7: Parámetros de arsénico antes y después del tratamiento



La tabla 10, muestra que el agua ácida contenía un valor de Arsénico de 0,2341 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,1014 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 43,3% y el porcentaje no removido es de 56.7%, La cantidad de arsénico presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 0.1mg/l para riego y 0.2mg/l para bebida de animales de la categoría 3, establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015 MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando también que el arsénico es menor dentro de los límites máximos permisibles de 0.1mg/l.

El arsénico se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, principalmente en los minerales sulfurosos. En aguas naturales, el As se encuentra, en general, como especie disuelta formado oxianiones, por lo cual, su estado de oxidación (y por tanto su movilidad), está controlada de fundamentalmente por las condiciones redox y el pH. Además, el As son móviles en el medio, aunque este último, se presenta como más móvil y de mayor toxicidad.

En este contexto, el arsénico (As) es un metaloide que está ampliamente distribuido en el ambiente natural y puede llegar a los cuerpos de aguas en rio Llallimayo y específicamente toda la sub cuenca desde las rocas debido a su meteorización. La toxicidad del arsénico, incluso en bajas concentraciones, es carcinogénica y puede causar deformaciones por mutaciones.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

H_a: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 11: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Arsénico.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Arsénico antes	,183	5	,200*	,953	5	,758
Arsénico después	,227	5	,200*	,943	5	,689

La tabla 11, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

Ha: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Arsénico.

Ho: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Arsénico.

Tabla 12: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Arsénico.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianz de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par: Arsénico Antes - Después	,1102	,05108	,02284	,04679	,17365	4,82	4	,008

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.008 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Arsénico.

Tabla 13: Parámetros de Bario antes y después del tratamiento.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sin Trata	Efluente liquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Bario	Ba	mg/L	0.07354	0.06960	0.7	**	**	94.6%	5.4%

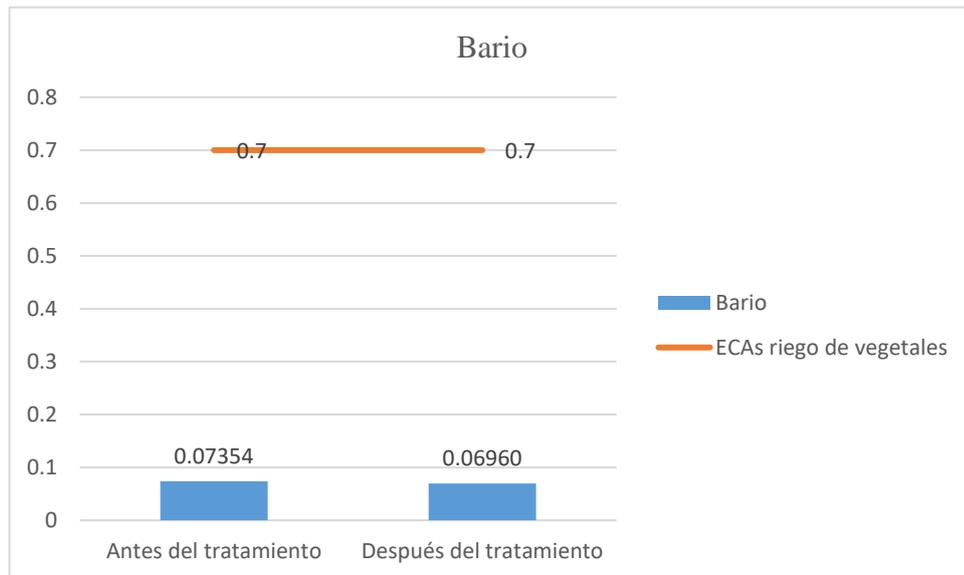


Figura 8: Parámetros de Bario antes y después del tratamiento.

La tabla 13, muestra que el agua ácida contenía un valor de bario de 0,07354 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,06960 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 94,6% y el porcentaje no removido es de 5,4%, La cantidad de bario presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 0.7mg/l. puesto que según la categoría 3 en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015 MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el parámetro Bario no tiene valor límites máximos permisibles para la descarga de influentes líquidos de actividad minera – metalúrgico.

Sin embargo, la sub cuenca del rio Llallimayo es una zona ganadera (vacuno, ovina y camélido), esto indica que existe pastos naturales y cultivados como: Alfalfa, Raigras,



Trebol, forrajes de avena y cebada. En consecuencia es utilizado para riego el agua proveniente del rio Llallimayo en los distritoS de Llalli, Cupi, Umachiri. Esto muestra que crecimiento foliar de pastos cultivados no es normal.

Prueba de normalidad

Ho: Los datos analizados siguen una distribución normal

Ha: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 14: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Bario.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Bario antes	,161	5	,200*	,971	5	,881
Bario después:	,208	5	,200*	,944	5	,696

La tabla 14, Muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados del metal Bario, siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

Ha: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Bario.

Ho: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Bario.

Tabla 15: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Bario.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par: Bario Antes - Después	,0128	,00654	,00292	,00472	,02096	4,39	4	,012

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza tiene un nivel de significancia de 0.012 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Bario.

Tabla 16: Parámetros de Berilio antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente líquido Si Tratar	Efluente líquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Berilio	Be	mg/L	0.000885	0.000463	0.1	0.1	**	52.3%	47.7%

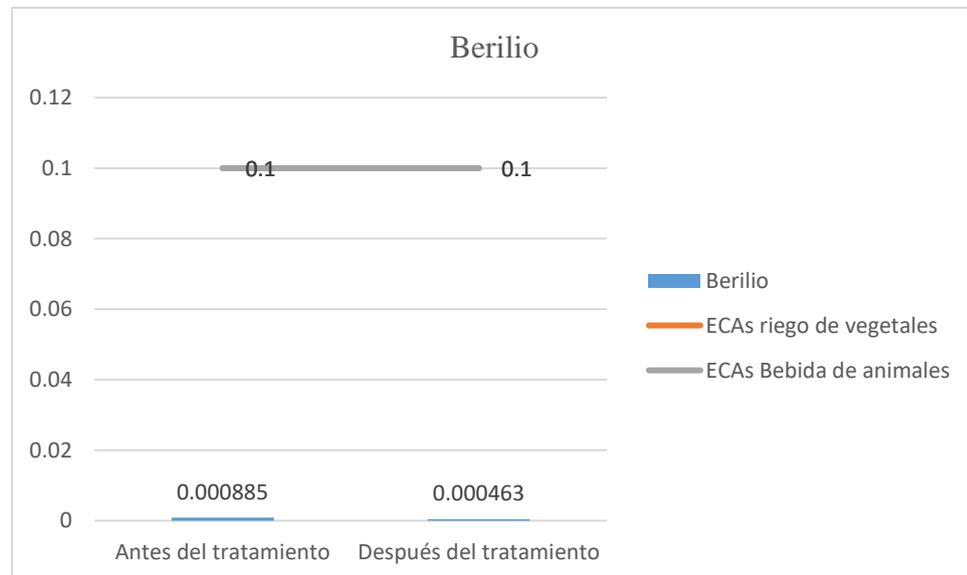


Figura 9: Parámetros de Berilio, antes y después del tratamiento.

La tabla 16, muestra que el agua ácida contenía un valor de Berilio de 0,000885 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a

0,000463 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 52,3% y el porcentaje no removido es de 47,7%, La cantidad de Berilio presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 0.1mg/l para riego y 0.1mg/l para bebida de animales establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015 MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el Berilio no tienen límites máximos permisibles.

Prueba de normalidad

Ho: Los datos analizados siguen una distribución normal

Ha: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 17: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Berilio.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Berilio antes	,278	5	,200*	,899	5	,402
Berilio después	,255	5	,200*	,936	5	,641

La tabla 17, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

Ha: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Berilio.

Ho: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Berilio.

Tabla 18: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Berilio.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par Berilio Antes - Después	,00039	,00005	,00002	,00033	,00044	19,04	4	,000

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.000 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Berilio.

Tabla 19: Parámetros de Boro antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sin Trata	Efluente liquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Boro	B	mg/L	1.557	0.7759	1	5	**	49.8%	50.2%

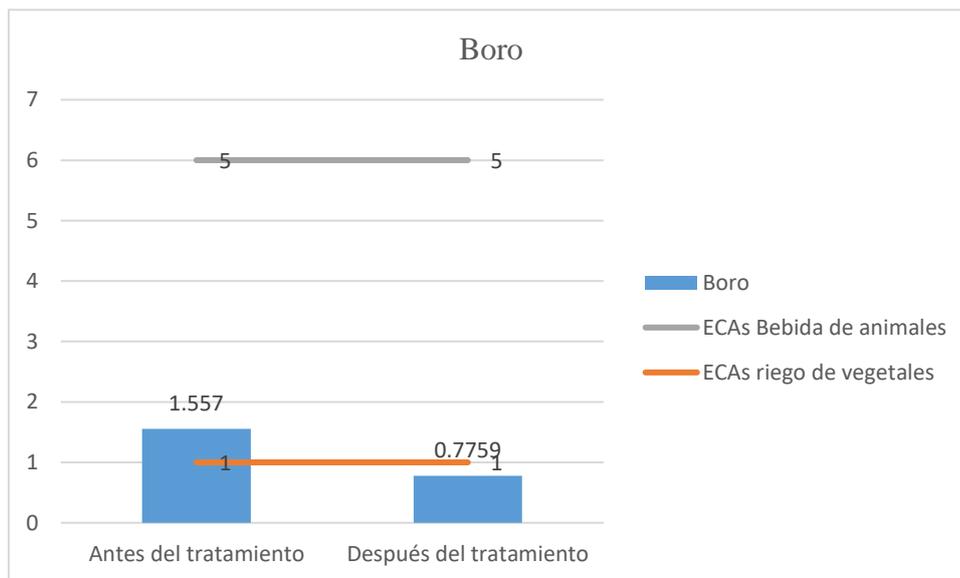


Figura 10: Parámetros de Boro antes y después del tratamiento

La tabla 19, muestra que el agua ácida contenía un valor de Boro de 1,557 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,7759 mg/l.; por lo

tanto la remoción de este parámetro fue de 49,8% y el porcentaje no removido es de 50,2%, La cantidad de Boro presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 1mg/l para riego y 5mg/l para bebida de animales establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015 MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el Boro no tienen límites máximos permisibles.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

H_a: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 20: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Boro.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Boro antes	,233	5	,200*	,908	5	,455
Boro después	,323	5	,095	,814	5	,105

La tabla 20, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

H_a: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Boro.

H₀: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Boro.

Tabla 21: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Boro.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Medi	Desviación estándar	Desviación. Errc promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par Boro Antes - Después	,681	,309	,1384	,2967	1,0653	4,920	4	,008

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.008 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Boro.

Tabla 22: Parámetros de Cadmio antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente líquido Sin Tratar	Efluente líquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Cadmio	Cd	mg/L	0.00950	0.00292	0.01	0.05	0.05	30.7%	69.3%

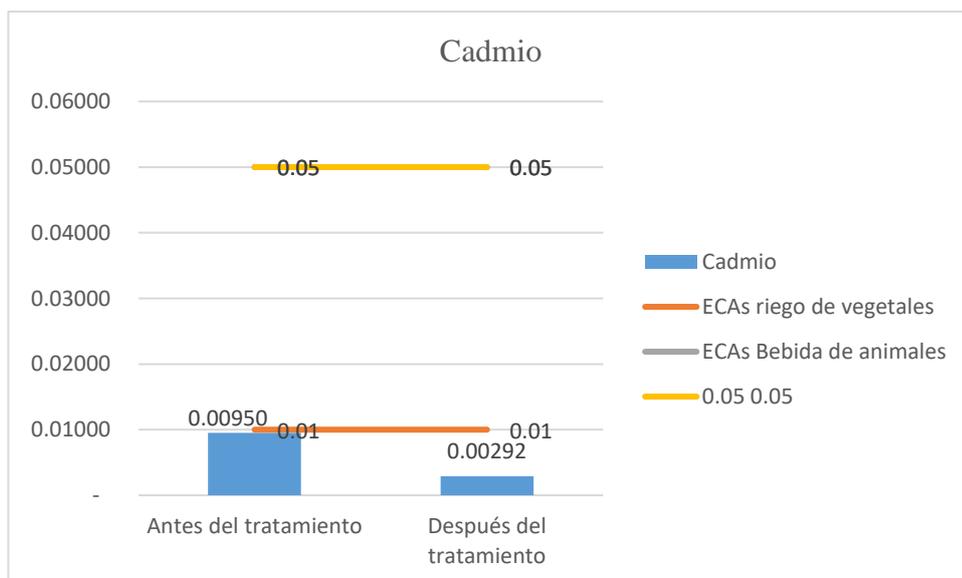


Figura 11: Parámetros de Cadmio antes y después del tratamiento

La tabla 22, muestra que el agua ácida contenía un valor de Cadmio de 0,00950 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,00292 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 30,7% y el porcentaje no removido es de 69,3%, La cantidad de Cadmio presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 0.01mg/l para riego y 0.05mg/l para bebida de animales establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015. MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el Cadmio tiene límites máximos permisibles de 0.05mg/l.

Prueba de normalidad

Ho: Los datos analizados siguen una distribución normal

Ha: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 23: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Cadmio.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cadmio antes	,205	5	,200*	,885	5	,332
Cadmio después	,177	5	,200*	,967	5	,855

La tabla 23, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

Ha: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Cadmio.

Ho: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Cadmio.

Tabla 24: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Cadmio.

	Diferencias emparejadas				t	g	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior Superior			
Par Cadmio Ante - Después	,00682	,000496	,000222	,006208 ,007439	30,76	4	,000

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.000 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Cadmio.

Tabla 25: Parámetros de Cobre antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sir Tratar	Efluente liquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Cobre	Cu	mg/L	1.535	0.7764	0.2	0.5	0.5	50.6%	49.4%

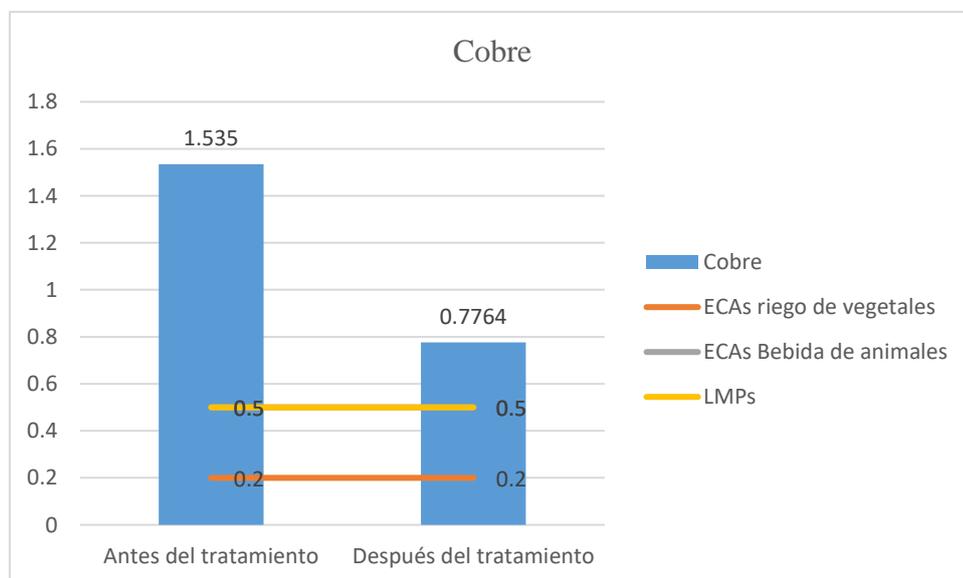


Figura 12: Parámetros de Cobre, antes y después del tratamiento

La tabla 25, muestra que el agua ácida contenía un valor de Cobre de 1,535 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,7764 mg/l.;

por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 50,6% y el porcentaje no removido es de 49,4%, La cantidad de cobre presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 0.2mg/l para riego y 0.5mg/l para bebida de animales establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015. MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el cobre tiene valor 0.5mg/l. en consecuencia está por encima de límites máximos permisibles para la descarga de influentes líquidos de actividad minera – metalúrgico.

El cobre está distribuido en la naturaleza, se presenta principalmente como sulfatos, carbonos, sulfuros de Fe y Cu (calcopirita) cuprita (óxido de cobre). El cobre puede adsorberse fácilmente sobre las partículas sólidas en suspensión e incorporarse rápidamente al arsénico. La solubilidad, movilidad y biodisponibilidad del cual Cu en sedimentos depende fundamentalmente del valor de pH, además, su biodisponibilidad se reduce drásticamente en los sedimentos a pH superior a 7 y es fácilmente disponible por debajo de pH 6.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

H_a: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 26: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Cobre.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cobre antes	,221	5	,200*	,904	5	,432
Cobre después	,290	5	,198	,901	5	,417

La tabla 26, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

Ha: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Cobre.

Ho: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Cobre.

Tabla 27: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Cobre.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par ' Cobre Antes - Después	,80280	,08635	,03862	,69559	,91001	20,790	4	,000

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.000 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Cobre.

Tabla 28: Parámetros de Cobalto antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente líquido Sin Tratar	Efluente líquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Cobalto	Co	mg/L	0.091879	0.025446	0.05	1	**	27.7%	72.3%

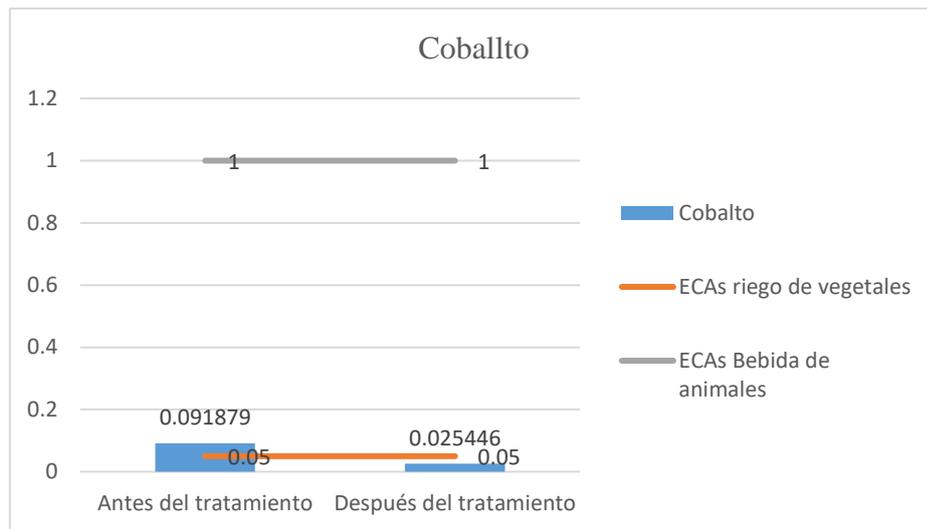


Figura 13: Parámetros de Cobalto antes y después del tratamiento

La tabla 28, muestra que el agua ácida contenía un valor de Cobalto de 0,091879 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,02544 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 27,7% y el porcentaje no removido es de 72,3%, La cantidad de Cobalto presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 0.05mg/l para riego y 1mg/l para bebida de animales establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015.MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el Cobalto no tienen límites máximos permisibles.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

H_a: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 29: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Cobalto.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cobalto antes	,237	5	,200*	,863	5	,239
Cobalto después	,236	5	,200*	,874	5	,283

La tabla 29, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

Ha: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Cobalto.

Ho: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Cobalto.

Tabla 30: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Cobalto.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Medi	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianz de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par : Cobalto Antes - Después	,0648	,00546	,00244	,05804	,07160	26,55	4	,000

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.000 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Cobalto.

Tabla 31: Parámetros de Cromo Total antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sin Trata	Efluente liquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Cromo									
Total	Cr	mg/L	0.00932	0.00806	0.1	1	0.1	86.5%	13.5%

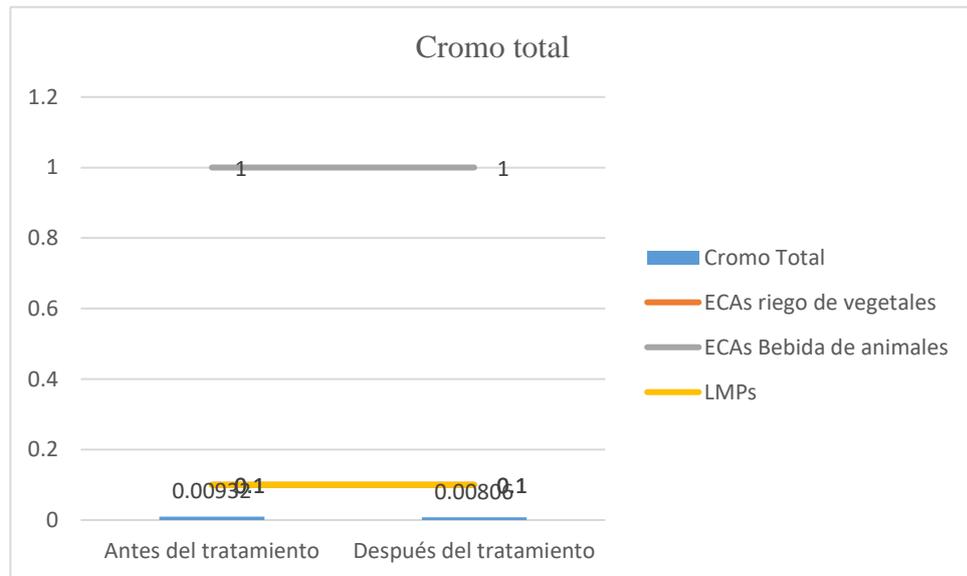


Figura 14: Parámetros de Cromo Total antes y después del tratamiento

La tabla 31, muestra que el agua ácida contenía un valor de Cromo de 0,00932 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,08806 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 86,5% y el porcentaje no removido es de 13,5%, La cantidad de Cromo presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor establecido de 0.1mg/l para riego y 1mg/l para bebida de animales en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015.MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el Cromo Total tiene límites máximos permisibles de 0.1mg/l.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

H_a: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 32: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Cromo.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cromo Total antes	,169	5	,200*	,983	5	,952
Cromo Total después	,284	5	,200*	,781	5	,056

La tabla 32, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

H_a: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Cromo Total.

H₀: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Cromo Total.

Tabla 33: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Cromo.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Medio	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianz de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par ' Cromo Total Ante - Después	,0008	,00062	,00028	,00012	,00166	3,18	4	,033

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.033 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Cromo Total.

Tabla 34: Parámetros de Hierro antes y después del tratamiento.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sin Tratai	Efluente liquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Hierro	Fe	mg/L	13.2	5.55	5	**	2	42.0%	58.0%

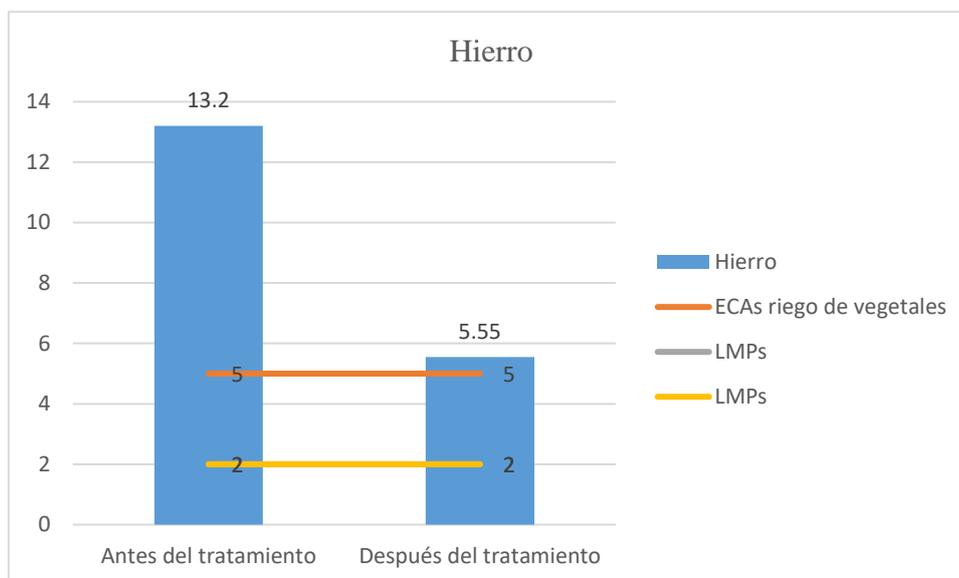


Figura 15: Parámetros de Hierro antes y después del tratamiento

La tabla 34, muestra que el agua ácida contenía un valor de hierro de 13,2 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 5,5 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 42% y el porcentaje no removido es de 58%, La cantidad de hierro presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 5mg/l para riego y no presenta límites para bebida de animales establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015.MINAM,

la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el hierro tiene límites máximos permisibles de 2mg/l.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

H_a: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 35: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Hierro.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Hierro antes	,190	5	,200*	,935	5	,634
Hierro después	,216	5	,200*	,915	5	,499

La tabla 35, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

H_a: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Hierro.

H₀: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Hierro.

Tabla 36: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Hierro.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Medi	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianz de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 Hierro Antes - Después	7,688	,24904	,11137	7,37878	7,99722	69,02	4	,000

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.000 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Hierro.

Tabla 37: Parámetros de Litio antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sin Trata	Efluente liquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Litio	Li	mg/L	0.45277	0.16574	2.5	2.5	**	36.6%	63.4%

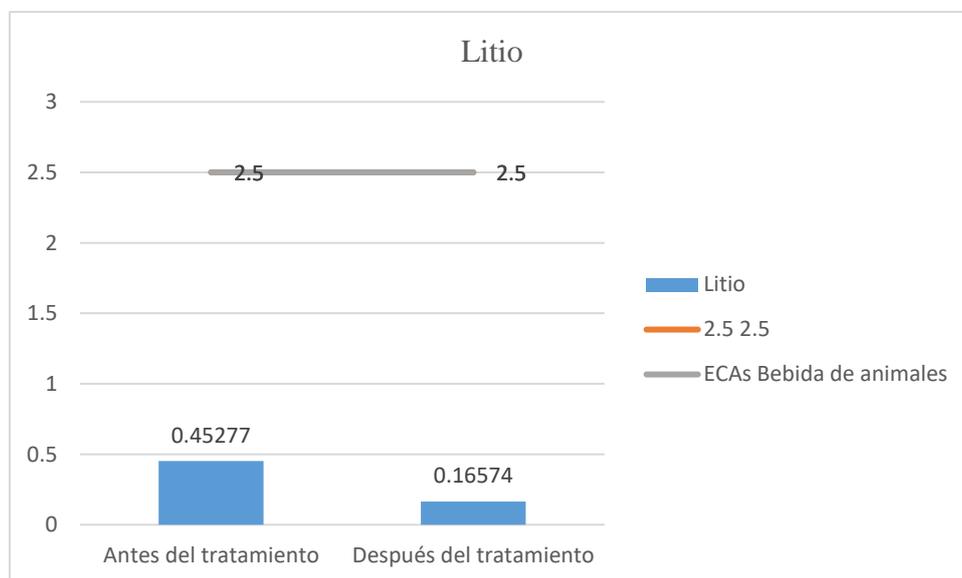


Figura 16: Parámetros de Litio antes y después del tratamiento

La tabla 37, muestra que el agua ácida contenía un valor de Litio de 0,45277mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,16574 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 36,6% y el porcentaje no removido es de 63,4%, La cantidad de Litio presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 2.5mg/l para riego y 2.5mg/l para bebida de animales establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015.MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el Litio no tienen límites máximos permisibles.

Prueba de normalidad

Ho: Los datos analizados siguen una distribución normal

Ha: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 38: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Litio.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Litio antes	,290	5	,197	,781	5	,056
Litio después	,160	5	,200*	,989	5	,976

La tabla 38, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

Ha: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración Litio.

Ho: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración Litio.

Tabla 39: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Litio.

	Diferencias emparejadas					t	G	Sig. (bilateral)
	Medi	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianz de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 Litio Antes - Después	,3211	,05406	,02417	,25405	,38829	13,28	4	,000

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.000 es menor a

0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Litio.

Tabla 40: Parámetros de Magnesio, antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente líquido Si Tratar	Efluente líquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Magnesio	Mg	mg/L	11.38	10.99	**	250	**	96.6%	3.4%

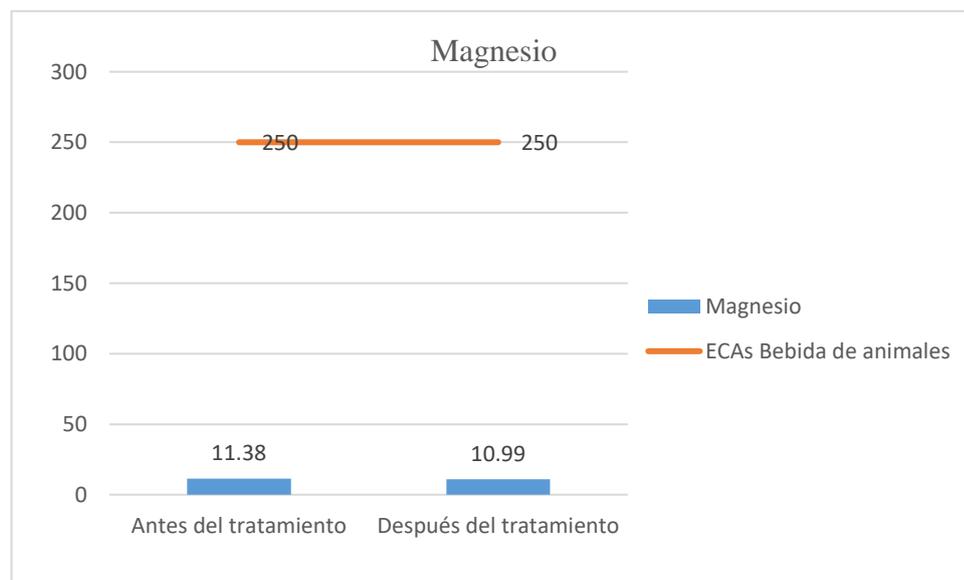


Figura 17: Parámetros de Magnesio, antes y después del tratamiento

La tabla 40, muestra que el agua ácida contenía un valor de Magnesio de 11,38 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 10,99 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 96,6% y el porcentaje no removido es de 3,4%, La cantidad de Magnesio presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 250mg/l para bebida de animales y no presenta límites para riego establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015.MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el Magnesio no tienen límites máximos permisibles.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

Ha: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 41: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Magnesio.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Magnesio antes	,307	5	,139	,801	5	,083
Magnesio después	,236	5	,200*	,840	5	,164

La tabla 41, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

Ha: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración Magnesio.

Ho: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración Magnesio.

Tabla 42: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Magnesio.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Medio	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 12 Antes - Después	1,092	,63751	,28510	,30043	1,88357	3,830	4	,019

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.019 es menor a

0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Magnesio.

Tabla 43: Parámetros de Manganeso antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente líquido Sin Trata	Efluente líquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Manganeso	Mn	mg/L	0.86201	0.29530	0.2	0.2	**	65.7%	34.3%

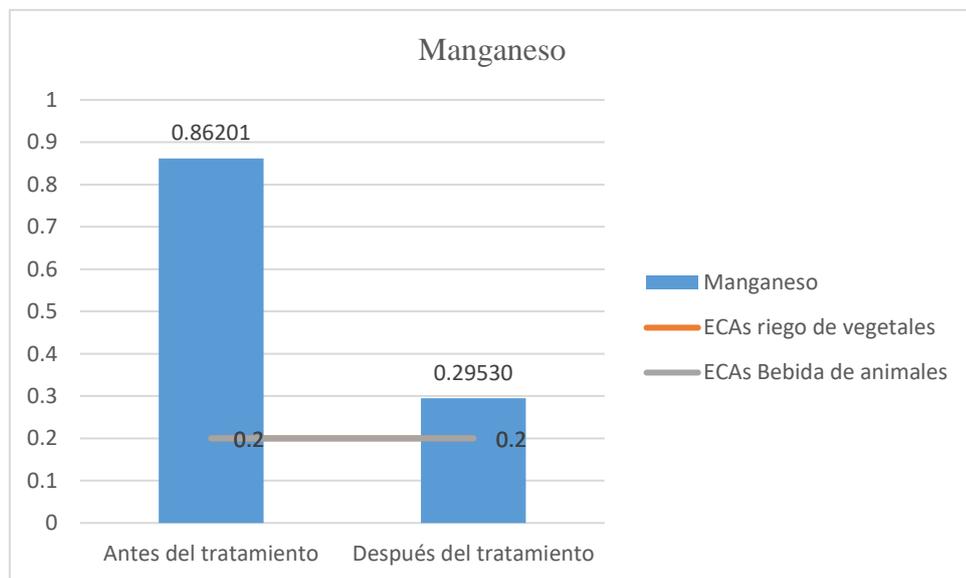


Figura 18: Parámetros de Manganeso antes y después del tratamiento

La tabla 43, muestra que el agua ácida contenía un valor de Manganeso de 0,86201 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,29530 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 65,7% y el porcentaje no removido es de 34,3%, La cantidad de Manganeso presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor establecido de 0.2mg/l para riego y 0.2mg/l para bebida de animales en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015.MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el Manganeso no tienen límites máximos permisibles.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

H_a: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 44: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Manganeso.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Manganeso antes	,220	5	,200*	,971	5	,879
Manganeso después	,306	5	,141	,777	5	,052

La tabla 44, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

H_a: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Manganeso.

H₀: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Manganeso.

Tabla 45: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Manganeso

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 13 Antes - Después	,5692	,01537	,00687	,55013	,58829	82,818	4	,000

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.000 es menor a

0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Manganeseo.

Tabla 46: Parámetros de Mercurio antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente líquido Sin Tratar	Efluente líquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Mercurio	Hg	mg/L	b<0.00041	b<0.00041	0.001	0.01	**		

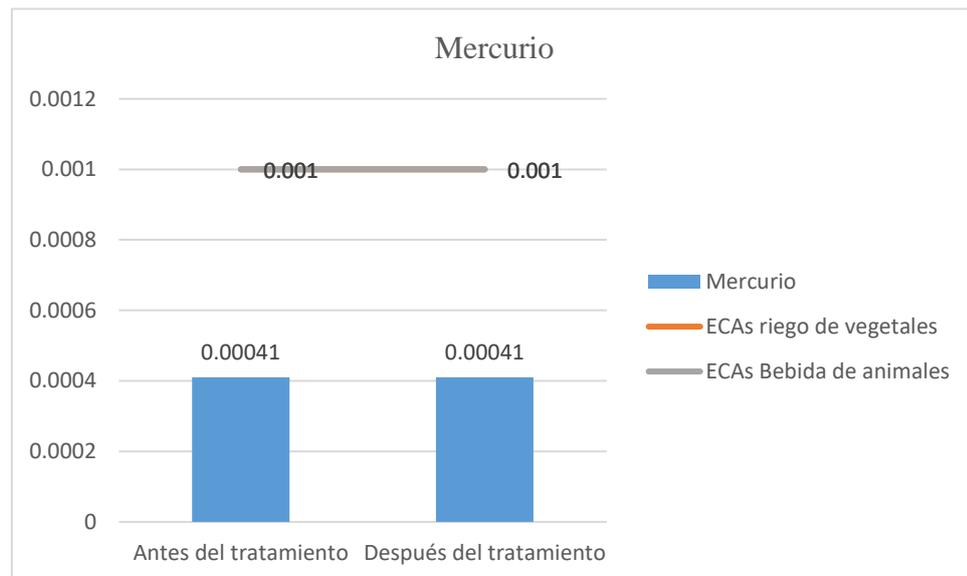


Figura 19: Parámetros de Mercurio antes y después del tratamiento

La tabla 46, muestra que el agua ácida contenía un valor de Mercurio inferior a 0,00041mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se obtuvo valores inferiores a 0,00041 mg/l.; por lo tanto, La cantidad de mercurio presente en la entrada y salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 0.01mg/l para riego y 0.01mg/l para bebida de animales establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015.MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el mercurio no tiene límites máximos permisibles.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

Ha: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 47: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Mercurio.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Mercurio antes	,203	5	,200*	,923	5	,549
Mercurio después	,198	5	,200*	,951	5	,742

La tabla 47, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

Ha: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza neutraliza baja la concentración de Mercurio.

Ho: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Mercurio.

Tabla 48: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Mercurio.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desviación. Error promedi	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par Mercurio 14 Antes - Después	,000000	,000008367	,000003742	-,000002389	,000018389	2,13	4	,099

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.099 es mayor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con

el uso de la roca caliza, presencia de Mercurio pero en mínimos valores, no afectando al riego y bebida de los animales.

Tabla 49: Parámetros de Níquel antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sin Trata	Efluente liquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Níquel	Ni	mg/L	0.08499	0.02827	0.2	1	**	33.3%	66.7%

La tabla 49, muestra que el agua ácida contenía un valor de Níquel de 0,08499 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,02827 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 33,3% y el porcentaje no removido es de 66,7%, La cantidad de Níquel presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 0.2mg/l para riego y 1mg/l para bebida de animales establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015.MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el Níquel no tienen límites máximos permisibles.

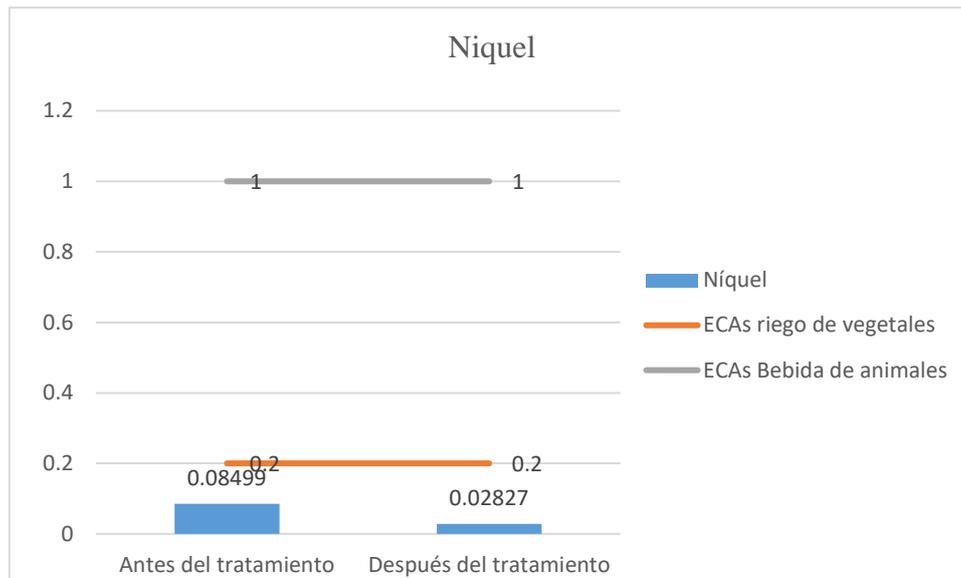


Figura 20: Parámetros de Níquel antes y después del tratamiento

Prueba de normalidad

Ho: Los datos analizados siguen una distribución normal

Ha: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 50: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Níquel.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Níquel antes	,294	5	,183	,886	5	,335
Níquel después	,271	5	,200*	,886	5	,338

La tabla 50, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

Ha: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de del Níquel.

Ho: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Níquel.

Tabla 51: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Níquel.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Medi	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 Níquel Antes - Después	,0551	,00172	,00077	,05300	,05728	71,56	4	,000

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.000 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Níquel.

Tabla 52: Parámetros de Plomo antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente líquido Sin Tratar	Efluente líquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Plomo	Pb	mg/L	0.0058	0.00049	0.05	0.05	0.2	8.4%	91.6%

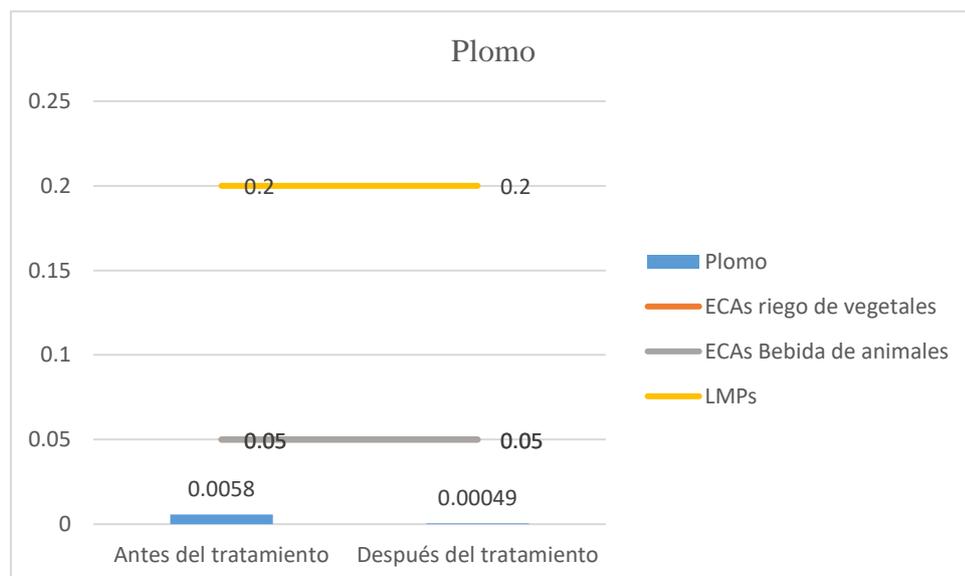


Figura 21: Parámetros de Plomo antes y después del tratamiento

La tabla 52, muestra que el agua ácida contenía un valor de Plomo de 0,0058 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,00049 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 8,4% y el porcentaje no removido es de 91,6%, La cantidad de Plomo presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 0.05mg/l para riego y 0.05mg/l para bebida de animales establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015.MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el Plomo tiene límites máximos permisibles de 0.2mg/l.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

H_a: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 53: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Plomo.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Plomo antes	,213	5	,200*	,935	5	,634
Plomo después	,266	5	,200*	,909	5	,459

La tabla 53, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

H_a: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Plomo.

H₀: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Plomo.

Tabla 54: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Plomo.

	Diferencias emparejadas				t	g	Sig. (bilateral)	
	Media	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianz de la diferencia				
				Inferior				Superior
Par 1 Plomo Antes - Después	,0055	,00072	,00032	,00466	,00644	17,29	,000	

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.000 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Plomo.

Tabla 55: Parámetros de Selenio Antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sin Trata	Efluente liquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Selenio	Se	mg/L	0.0096	0.0068	0.02	0.05	**	70.8%	29.2%

La tabla 55, muestra que el agua ácida contenía un valor de Selenio de 0,0096 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,0068 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 70,8% y el porcentaje no removido es de 29,2%, La cantidad de Selenio presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 0.02mg/l para riego y 0.05mg/l para bebida de animales establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015.MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el Selenio tiene límites máximos permisibles.

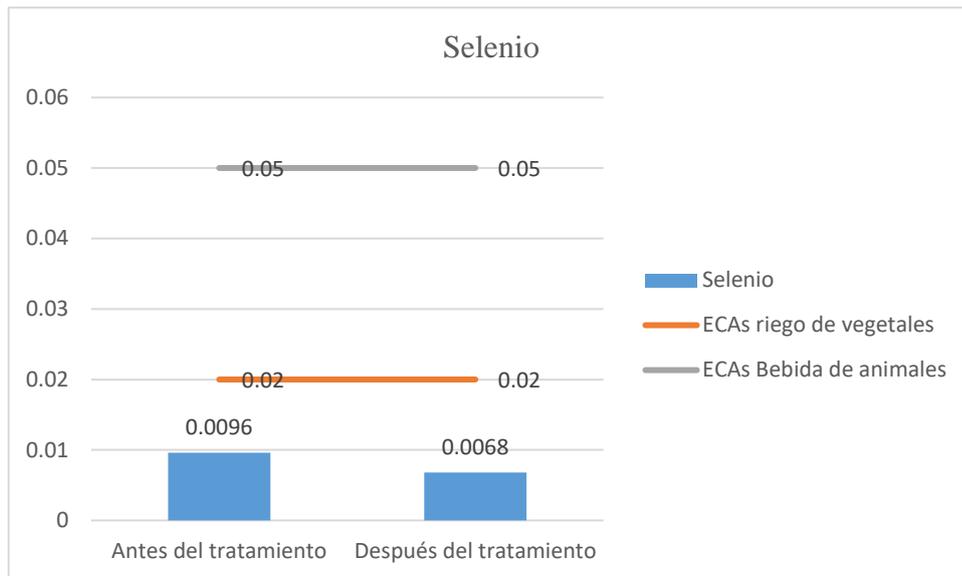


Figura 22: Parámetros de Selenio antes y después del tratamiento

Prueba de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

H_a: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 56: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Selenio.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Selenio antes	,314	5	,120	,781	5	,056
Selenio después	,199	5	,200*	,967	5	,858

La tabla 56, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

H_a: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Selenio.

Ho: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Selenio.

Tabla 57: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas Selenio.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Medi	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianz de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 Selenio Antes - Después	,0028	,00079	,00035	,00188	,00384	8,10	4	,001

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.001 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Selenio.

Tabla 58: Parámetros de Zinc antes y después del tratamiento

Parámetro	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sin Trata	Efluente liquido tratado	ECAs riego de vegetales	ECAs Bebida de animales	LMPs	% de Remoción	% de no Removido
Zinc	Zn	mg/L	0.3638	0.1467	2	24	1.5	40.3%	59.7%

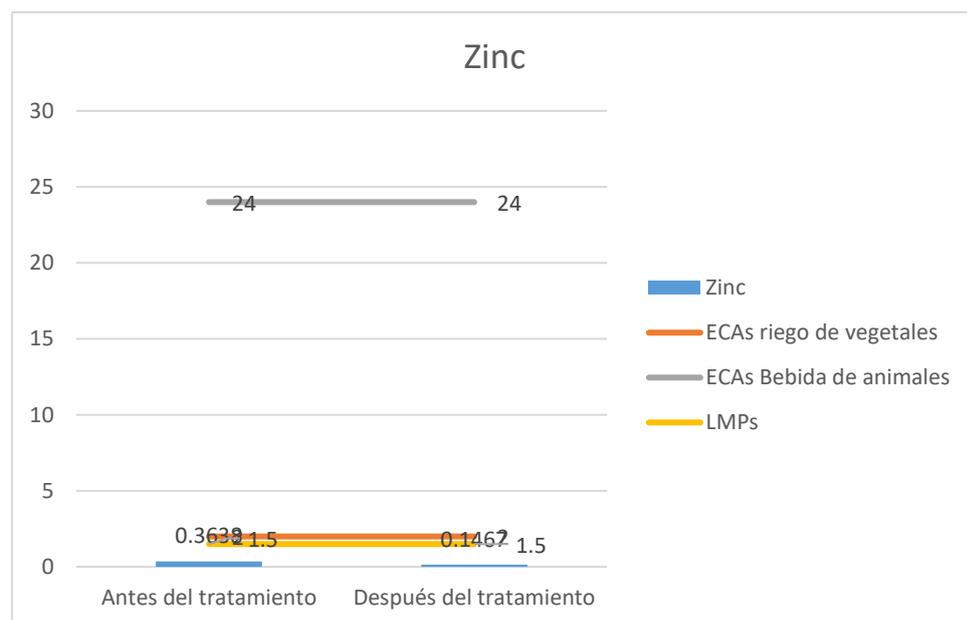


Figura 23: Parámetros de Zinc antes y después del tratamiento

La tabla 58, muestra que el agua ácida contenía un valor de Zinc de 0,3638 mg/l antes del ingreso al sistema de tratamiento, luego del tratamiento se redujo a 0,1467 mg/l.; por lo tanto la remoción de este parámetro fue de 40,3% y el porcentaje no removido es de 59,7%, La cantidad de Zinc presente a la salida del tratamiento se encuentra por debajo del valor de 2mg/l para riego y 24mg/l para bebida de animales, establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S 015-2015.MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales, evidenciando que el Zinc tiene límites máximos permisibles de 1.5mg/l.

Prueba de normalidad

Ho: Los datos analizados siguen una distribución normal

Ha: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 59: Pruebas de normalidad Shapiro Wilk de Zinc.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Zinc antes	,301	5	,158	,853	5	,205
Zinc después	,338	5	,064	,793	5	,070

La tabla 59, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas.

Ha: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza baja la concentración de Zinc.

Ho: Los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza no baja la concentración de Zinc.

Tabla 60: Prueba de hipótesis “t” de Student para muestras relacionadas de Zinc.

	Diferencias emparejadas					t	g	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desviación. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 Zinc Antes - Después	,2134	,04820	,02156	,15363	,27333	9,90	4	,001

La prueba “t” de student para diferencia de las medias (promedios) obtenida antes y después del uso de la roca caliza de tiene un nivel de significancia de 0.001 es menor a 0,05, esto permite inferir, que después del tratamiento, los efluentes líquidos tratados con el uso de la roca caliza, neutraliza significativamente la presencia del Zinc.

Tabla 61: Parámetros físico químicos de efluentes líquidos tratados de la unidad minera Arasi en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.

Parámetros físico químico	Símbolo	Unidad	Efluente liquido Sin Tratar	Efluente liquido tratado	ECA de agua de Riego de vegetales	ECA de agua Bebida de Animales	LMPs
Conductividad eléctrica	C	mS/cm o uS/cm	0.958	0.990	2500.000	5000	**
pH	Ph	pH	5.38	8.24	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	6 9
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	6.5	7.1	4	5	**

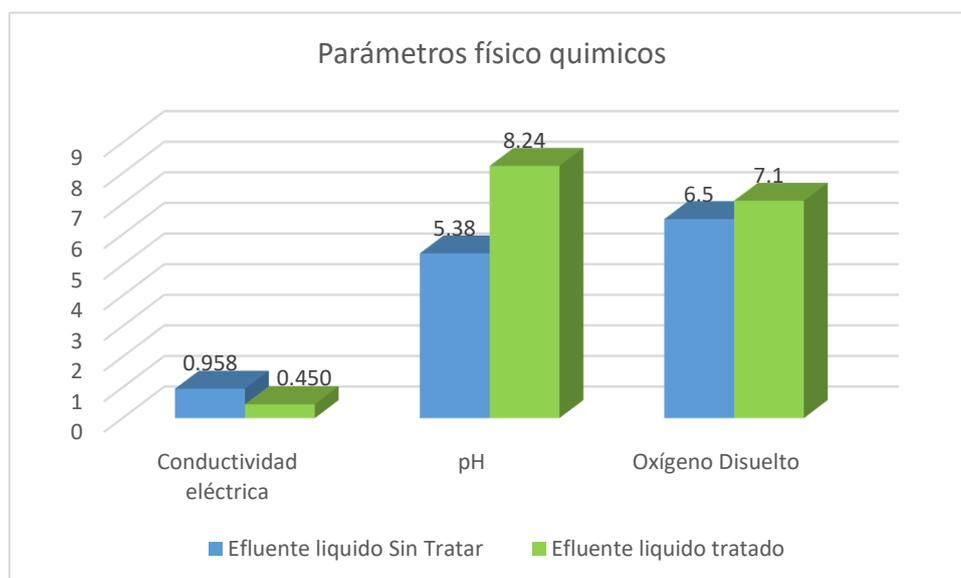


Figura 24: Parámetros físicos químicos



La tabla 61, muestra resultados de los Parámetros físico químicos de efluentes líquidos de la unidad minera Arasi en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno, donde el valor del parámetro de la conductividad es de 0.990 mS/cm; el pH tiene un valor de 8,24 demostrando que es neutro o no tiene acidez ni alcalinidad, encontrándose en el rango de los ECAs para riego de vegetales y los ECAs para bebida de los animales, y el parámetro de oxígeno disuelto es 7,1mg/L. (Aduvire, 2006) señala que los drenajes ácidos de mina contiene poco oxígeno disuelto. La reducción significativa del oxígeno disuelto se debe a la presencia de contaminantes en el agua, como consecuencia de ello provoca la mortandad del medio acuático.

Por el contrario si el OD aumenta, la velocidad del crecimiento microbiano también lo hace. Además (Aduvire, 2006) indica que disminuye la cantidad de oxígeno disuelto presente en el agua es por la oxidación del ion férrico, sin embargo al añadir un agente neutralizante se inhibe este proceso y ayuda a aumentar el oxígeno disuelto.

4.3 PROPUESTA DE TRATAMIENTO

- Objetivo general

Proponer el diseño de un sistema de tratamiento del drenaje ácido generado por la Unidad Minera Arasi mediante canales de roca caliza (carbonato de calcio) en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.

Según los informes Técnicos, N° 138-2017-ANA-DGCRH-GOCRH, del 5 de diciembre, reporta que las aguas de la zona alta de la cuenca (donde se ubica la minera Arasi de la Empresa Minera Aruntani SAC.) que corresponde a la quebrada Lluchusani, río Azufrini y río Chacapalca, son ácidas y se encuentran contaminadas por metales pesados con Aluminio, Arsénico, Berilio, Litio, Magnesio, Hierro, Cobalto, Cobre, Cadmio y Plomo. Del mismo modo el informe N° 039-2017/DESA/DSB/DIRESA/GR-



PUNO, del 21 de abril del 2017, llega a la conclusión de que las aguas que consumen en los distritos de Llalli, Cupi, Umachiri y Ayaviri. En síntesis el grado de contaminación en la Cuenca Llallimayo se ha tipificado porque los metales pesados identificados sobrepasan excesivamente límites máximos permisibles (LMPs) de las Estándares de Calidad Ambiental (ECAS).

Las labores de cierre de la unidad minera “Arasi” se encuentran previstas en: La Modificación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Arasi, aprobado por Resolución Directoral N° 364-2012-MEM-AAM de fecha 7 de noviembre del 2012, sustentada en el Informe N° 1259-2012-EMAAM/SDC/ABR/MES/LRM. La Actualización del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Arasi, aprobado por Resolución Directoral N° 138-2014-MEM-DGAAM de fecha 24 de marzo del 2014, sustentada en el Informe N° 318-2014-MEMDGAAM/DNAM/DGAM/PC (en adelante, APCM 2014). Este último instrumento de gestión ambiental prevé que las labores de cierre progresivo de la unidad minera “Arasi” se realizarán en un plazo de cuatro (04) años, seguido de un periodo de dos (02) años para las labores de cierre final y cinco (05) años para la fase de postcierre.

Aduvire, (2006) indica que antes de elegir un sistema de tratamiento, se debe proceder a su caracterización geoquímica (pH, oxígeno disuelto, conductividad, metales totales y otros). Por lo tanto se procedió a realizar la caracterización de los efluentes líquidos de la unidad minera Arasi. Antes de utilizar el tratamiento pasivo mediante el uso de roca caliza.

Sin embargo, la muestra de efluentes líquidos sin tratar, generados a través de la actividad minera por parte de la Unidad Minera Arasi, nos indica presencia altas concentraciones en los metales pesados y una elevada acidez, por consiguiente nos



permite demostrar que es necesario aplicar un tratamiento previo antes de la evacuación al medio ambiente.

Es consecuencia, la muestra de efluentes líquidos tratados generados a través de la actividad minera por parte de la Unidad Minera Arasi mediante canales de roca caliza (carbonato de calcio al 93.5%), nos indica que la concentraciones de los metales pesados redujeron y por lo tanto la remoción de los parámetros físicos químicos e inorgánicos es mayor. Y como resultado cumple el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua según el D.S 015-2015.MINAM, la que implica que es utilizable para riego de vegetales y como bebida de animales dentro de la categoría 3.

Esto indica que los resultados de la alcalinidad determinada en las pruebas con roca caliza, se propone a diseñar un sistema de tratamiento de canales de roca caliza. Donde la cantidad de caliza necesaria para el tratamiento para un tiempo de residencia de 10 años se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$M = \frac{Q \cdot C \cdot T}{X}$$

Donde:

Q = Caudal del efluente a tratar = 1.7 l/s (6120 l/h)

C = Concentración esperada de alcalinidad en el efluente tras el tratamiento = 300 mg/l

T = Periodo de tratamiento que se pretende = 10 años (87600 h)

X = Contenido en carbonato cálcico de la caliza expresado en forma decimal (0.69)

Por tanto, el cálculo es de 7 495 513 toneladas de caliza.

Dimensiones:

- Profundidad 3 m



- Ancho 40 m
- Largo 200m

Implementación:

- Excavación
- Trituración
- Suelo relleno
- Instalación
- Caliza

Cantidad de cal requerida para la precipitación:

En síntesis para el tratamiento del efluente líquido, se demostró que son requeridos 1.2 gramos de cal por litro de agua ácida de mina; por lo que, para tratar 1,7 l/s, se requieren: 2082. 08 toneladas de piedra caliza por día.

Pruebas de normalidad

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal

H_a: Los datos analizados no siguen una distribución normal

Tabla 62: Pruebas de normalidad de Shapiro Wilk de parámetros inorganicos.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Líquidos afluentes antes del tratamiento	,12	1	,20	,95	1	,38
Líquidos afluentes despu del tratamiento	,09	1	,20	,95	1	,42

La tabla 62, muestra resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, donde el nivel de significancia es superior al parámetro establecido de 0.05; por lo que se demuestra que los datos analizados siguen una distribución normal.

Tabla 63: Estadísticas de muestras emparejadas.

	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1 Efluente liquido antes del tratamiento	2,002	18	4,026	,9489
Efluente liquido después del tratamiento	1,267	18	2,859	,6739

Tabla 63. Estadísticas de muestras emparejadas de parámetros inorgánicos de efluentes líquidos de la unidad minera Arasi en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.

Las estadísticas de muestras emparejadas muestran una media del efluente liquido sin tratar de 2,002 en promedio con una desviación estándar de 4,026 y el efluente liquido tratado de 1,267 en promedio con una desviación estándar de 2,859, demostrando que; mediante canales de roca caliza (carbonato de calcio) en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno se reduce significativamente los metales pesados en la sub cuenca del rio Llallimayo región Puno.

Tabla 64: Correlaciones de muestras emparejadas de parámetros inorgánicos de efluentes líquidos de la unidad minera Arasi en la sub cuenca del río Llallimayo región Puno.

	N	Correlación	Sig.
Par 1 Efluente liquido antes del tratamiento & Efluente después del tratamiento	18	,916	,000



La prueba de correlaciones de muestras emparejadas evidencia que el nivel de correlación es de 0,916 demostrando que existe alta influencia mediante canales de roca caliza (carbonato de calcio) se reduce significativamente los metales pesados en la subcuenca del río Llallimayo región Puno.



V. CONCLUSIONES

La propuesta del diseño de un sistema de tratamiento del drenaje ácido generado por la unidad minera Arasi mediante canales de roca caliza compuesta por carbonato de calcio (CaCO_3), influye significativamente en la reducción de metales pesados en la subcuenca del río Llallimayo región Puno, la que se demuestra en los estadísticos de muestras emparejadas y con la prueba de correlaciones de muestras emparejadas se evidencia que el nivel de correlación es de 0,916 demostrando que existe alta influencia mediante canales de roca caliza (carbonato de calcio), además la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio con el ECA de Agua y LMP's, además se observa que todos los parámetros inorgánicos cumplen con las normativas y redujeron ampliamente al ser tratados mediante la roca caliza.

La calidad físico químico de efluentes líquidos de la unidad minera Arasi en la subcuenca del río Llallimayo región Puno, presenta contenidos elevados de metales pesados, porque el análisis de la muestra de efluentes líquidos generados presencia altas concentraciones en los metales pesados y el parámetro del pH muestra una elevada acidez, por encima de Estándares de Calidad Ambiental (ECAS).

La calidad físico químico de efluente líquido después del tratamiento con el uso de la roca caliza neutraliza significativamente el pH y baja la concentración de metales pesados en la subcuenca del río Llallimayo región Puno, donde el valor del parámetro de la conductividad es de 0.990 mS/cm; el pH tiene un valor de 8,24 demostrando que es neutro o no tiene acidez ni alcalinidad, encontrándose en el rango de los ECAs para riego de vegetales y los ECAs para bebida de los animales, y el parámetro de oxígeno disuelto es 7,1mg/L.



VI. RECOMENDACIONES

Profundizar la investigación en temas de tratamiento del efluente líquido, para los parámetros físicos químicos e inorgánicos con el fin de disminuir hasta un 99%. Se recomienda Tratamiento combinado compuesto por sistema ALD y humedal, que permitan ayudar a mejorar el sistema que proponemos.

Desarrollar un plan de monitoreo y control del sistema de tratamiento con roca caliza (carbonato de calcio), a fin de cumplir con la normativa aplicable y de verificar la eficiencia del tratamiento.

Mejorar el sistema de tratamiento de aguas acidas mediante roca caliza (carbonato de calcio) en función al costo económico, para la optimización de la disminución de los parámetros físico-químicos e inorgánicos. Para lograr la neutralización con menos cantidad de roca caliza e incorporando componentes orgánicos de la zona para disminuir metales pesados.



VII. REFERENCIAS

- Aduvire, O. (2006). Drenaje Acido de Mina Generación y Tratamiento. *Instituto Geológico y Minero de España*. Retrieved from http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf
- Arizaca-Ávalos, A. (2016). *Inversiones Mineras, Conflictos Sociales y Desarrollo Humano Sostenible en el Perú 2001-2015* (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6239>
- Autoridad Nacional del Agua. (2017). *Informe Técnico N° 138-2017-ANA-DGCRH-GOCRH*.
- Bejarano-Rodriguez, J. J., & Estacio-Ocas, M. N. (2019). *Propuesta de Tratamiento de Drenes Anóxico Calizo Combinado con Humedal en la Mina Michiquillay-Encañada, 2019* (Universidad Privada del Norte). Retrieved from <http://hdl.handle.net/11537/21882>
- Binelli, A., Magni, S., Soave, C., Marazzi, F., Zuccato, E., Castiglioni, S., ... Mezzanotte, V. (2014). The biofiltration process by the bivalve *D. polymorpha* for the removal of some pharmaceuticals and drugs of abuse from civil wastewaters. *Ecological Engineering*, 71, 710–721. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.08.004>
- Cervantes-Macedo, A. H. (2014b). *Caracterización del Drenaje Ácido y de las Rocas Asociadas a una Mina para Evaluar su Posible Aplicación en un Sistema de Tratamiento Pasivo* (Universidad Nacional Autónoma de México). Retrieved from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3014/tesis.pdf?sequence=1>
- Claramunt, R. (2013). *Principales Compuestos Químicos* (Universida). Retrieved from <https://books.google.co.ve/books?id=K45iAgAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Cuentas-Alvarado, M., Velasquez-Viza, O., Arizaca-Avalos, A., & Huisa-Mamani, F. (2019). Evaluación de Riesgos de Pasivos Ambientales Mineros en la Comunidad de Condoraque - Puno. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 4(2), 34–49. Retrieved from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000200004&lng=pt&nrm=iss&tlng=es
- Dalens-Campos, J. (2018). *Evaluación de la Calidad del Agua de la Cuenca Llallimayo de la Provincia de Melgar, Región de Puno* (Universidad José Carlos Mariátegui). Retrieved from <http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/ujcm/640>
- Dirección Regional de Salud- Gobierno Regional -PUNO. (2017). *Informe N° 039-2017/DESA/DSB/DIRESA/GR-PUNO*.
- Fahd, F., Khan, F., Hawboldt, K., & Abbassi, R. (2014). Developing a novel methodology for ecological risk assessment of thiosalts. *Stochastic. Environmental Research and Risk Assemente*, 28(2), 383–391. Retrieved from [doi:10.1007/s00477-013-0758-2](https://doi.org/10.1007/s00477-013-0758-2)
- Gálvez-Barrera, H. A. (2003). *Evaluación del Comportamiento de la Piedra Caliza con Diferente Contenido de Carbomato de Magnesio (MgCO₃) a través del Proceso de Calcinación a 850°C y 640 mmHg en la Obtención de Cal Viva Mediante la*



- Determinación de la Densidad Aparente (ASTM 188-95)* (Universidad de San Carlos de Guatemala). Retrieved from [http://www.repositorio.usac.edu.gt/3992/1/Hugo Alejandro Gálvez Barrera.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/3992/1/Hugo_Alejandro_Gálvez_Barrera.pdf)
- Gonzales-Sacsi, S., & Ticona-Cansaya, K. A. (2016). *Evaluación de la influencia de la granulometría de piedra caliza, concentración de carbonato de calcio, tiempo de residencia y temperatura de calcinación para mejorar el rendimiento en la obtención de óxido de calcio (Cal Viva)* (Universidad Nacional de San Agustín). Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2403>
- Hernández-Sampieri, R. Fernández-Collado, C. Baptista-Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación (6ta ed.)* (McGRAW-HIL). México D.F.
- Huisa-Mamani, F. (2015). *Análisis de las Concesiones Mineras y la Actividad Minera Informal a Pequeña Escala de la Región Puno y su Implicancia en la Gestión Ambiental y Social* (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/432>
- Jimenez-Huallpa, C. C. (2017). *Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con Lechada de Cal de la Unidad Minera* (Universidad Peruana Unión). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6239>
- Kirschbaum, A., & Murray, J. (2011). Minería y Aguas Ácidas: Contaminación y Prevención. *Museo de Ciencias Naturales y Facultad de Ciencias Naturales-UNSa., 1*, 40–51. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/55304337.pdf>
- López-Vega, A. (2016). *Pruebas de Tratamiento de Drenaje Ácido en un Sistema Continuo de Celdas con Rocas Filita y Caliza* (Universidad Nacional Autónoma de México). Retrieved from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/>
- Lottermoser, B. (2007). Recycling, Reuse and Rehabilitation of Mine Wastes. *Springer Berlin Heidelberg New York*. Retrieved from <http://doi.org/10.2113/gselements.7.6.405>
- Maillera, J., Gasperia, R., Coquetb, Y., Buletéc, A., Vullietc, E., Deshayesad, S., ... Rocherf, V. (2016). Removal of a wide range of emerging pollutants from wastewater treatment plant discharges by micro-grain activated carbon in fluidized bed as tertiary treatment at large pilot scale. *Science of The Total Environment, 542*, 983–996. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969715309694?via%3Dihub>
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Compendio de la Legislación Ambiental Peruana* (Vol. 5). Retrieved from http://www.minam.gob.pe/wpcontent/uploads/2013/10/compendio_05_-_calidad_ambiental_2.pdf
- Montesinos-León, M. I. (2017). *Caracterización de Efluentes de Mina para Elección de la Alternativa Óptima de Tratamiento* (Pontificia Universidad Católica del Perú.). Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7885>
- Morin, K., & Hutt, N. (2001). Clasificación de Drenaje. *Waste Management*.
- Nordstrom &, & Alpers. (1999). *Estudio y modelización geoquímica de las aguas ácidas*



- del lago minero de la corta Aznalcóllar*. 32–38.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2017). *Informe 054-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAM*.
- Palma-Huillca, G. A. (2018). *Evaluación del Funcionamiento de un Biorreactor Pasivo Utilizando Bacterias Sulfato-Reductoras para el Tratamiento de Drenajes Ácidos de Mina* (Universidad Nacional de San Agustín). Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6096>
- Salgado, B. M., Ortiz, P. M. D., Calderón, A. E., Estrada, C. L., & Niño, M. . (2009). Science of the Total Environment Pattern of expression of apoptosis and in flammatory genes in humans exposed to arsenic and / or fluoride. *Science of the Total Environment*, 760–767. Retrieved from <https://europepmc.org/article/med/19962721>
- Sanchez-Rial, J. E., & Ferreira-Centeno, J. P. (2016). Drenajes Ácidos de Mina Alternativas de Tratamiento. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 1, 20–33. Retrieved from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522016000100003
- Sepulcre-Guilabert, J. (2000). *Adición de carbonatos de calcio naturales micronizados y ultramicronizados a adhesivos termofusibles en base EVA* (Universidad de Alicante). Retrieved from <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/4049/1/Sepulcre-Guilabert-Jose.pdf>.
- Skousen, J. G. (2002). *Overview of acid mine drainage treatment with chemicals*. 1–17.
- Sucapuca, F., Diaz, J., Mogrovejo, M., & Pérez, G. (2017). Medidas de Remediación de las Aguas del Embalse Pasto Grande, Moquegua - Perú. *REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGÍA Para El Desarrollo-UJCM*, 3(5), 83–90. Retrieved from <https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/81>
- Villanueva-Álvarez, R. C., & Sánchez-Pinto, F. R. (2013). *Diseño de Tratamiento Pasivo Después del Plan de Cierre de Mina* (Universidad Nacional de Ingeniería). Retrieved from <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1725>
- Villón-Béjar, M. (2004). *Hidrología* (Instituto). Retrieved from <https://editorial.tec.ac.cr/catalogo/hidrologia/#gsc.tab=0>
- Zamora-Echenique, G., Zamora-Mercado, V., & Gorrity-P, M. (2015). Propuesta de Tratamiento de las Aguas Ácidas de la Mina Milluni Mediante Drenes Anóxicos Calizos. *Revista Metalúrgica Universidad Técnica de Oruro*, 37–44. Retrieved from http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rmuto/n36/n36_a05.pdf
- Ziemkiewicz, P. F., Skousen, J. G., Brant, D. L., Sterner, P. L., & Lovett, R. J. (1997). Acid Mine Drainage Treatment with Armored Limestone in Open Limestone Channels. *American Society of Agronomy*. Retrieved from <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq1997.00472425002600040013x>



ANEXOS



Anexo 1: Estándar de calidad ambiental.

Categoría	Descripción	Subcategoría	Descripción
Categoría 1-A	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	A1	Agua que puede ser potabilizada con desinfección
		A2	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento convencional
		A3	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento avanzado
Categoría 1-B	Aguas superficiales destinadas a recreación	B1	Contacto primario
		B2	Contacto secundario
Categoría 2: Actividades de extracción y cultivo marino costeras y continentales	Agua de mar	C1	Extracción y cultivo de moluscos bivalvos
		C2	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas
	Agua continental	C3	Otras actividades
		C4	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	Parámetros para riego de vegetales	D1	Riego de cultivos de tallo alto y bajo
		D2	Bebida de animales
Categoría 4	Conservación del Ambiente Acuático	E1	Lagunas y lagos
		E2: Ríos	Ríos de costa y sierra Ríos de selva
		E3: Ecosistemas marino costeras	Estuarios Marinos

Fuente: Ley N° 29338 del año 2009- Ministerio del Ambiente.



Anexo 2: Categoría 3 estándares de calidad ambiental (ECA).

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales	
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	518	**
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	500	**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)	2 500	5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2	0,5
Fenoles	mg/L	0,002	0,01
Fluoruros	mg/L	1	**
Nitratos (NO ₃ --N) + Nitritos (NO ₂ --N)	mg/L	100	100
Nitritos (NO ₂ --N)	mg/L	10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000	1 000
Temperatura	°C	$\Delta 3$	$\Delta 3$
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/L	0,2	0,5
Cobalto	mg/L	0,05	1
Cromo Total	mg/L	0,1	1
Hierro	mg/L	5	**
Litio	mg/L	2,5	2,5
Magnesio	mg/L	**	250
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Níquel	mg/L	0,2	1
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,02	0,05
Zinc	mg/L	2	24
ORGÁNICO			
Bifenilos Policlorados			
Bifenilos Policlorados (PCB)	μ g/L	0,04	0,045
PLAGUICIDAS			
Paratión	μ g/L	35	35
Organoclorados			
Aldrín	μ g/L	0,004	0,7
Clordano	μ g/L	0,006	7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	μ g/L	0,001	30
Dieldrín	μ g/L	0,5	0,5
Endosulfán	μ g/L	0,01	0,01
Endrin	μ g/L	0,004	0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	μ g/L	0,01	0,03
Lindano	μ g/L	4	4
Carbamato			
Aldicarb	μ g/L	1	11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**
Huevos de Helminthos	Huevo/L	1	1

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM



Anexo 3: Niveles máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas.

Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero - Metalúrgicas

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Pb	mg/L	0,4	0,2
Cu	mg/L	1	0,3
Zn	mg/L	3	1
Fe	mg/L	2	1
As	mg/L	1	0,5
Cianuro Total	mg/L	1	1

Fuente: DECRETO SUPREMO N° RM - 011 - 96 – EM

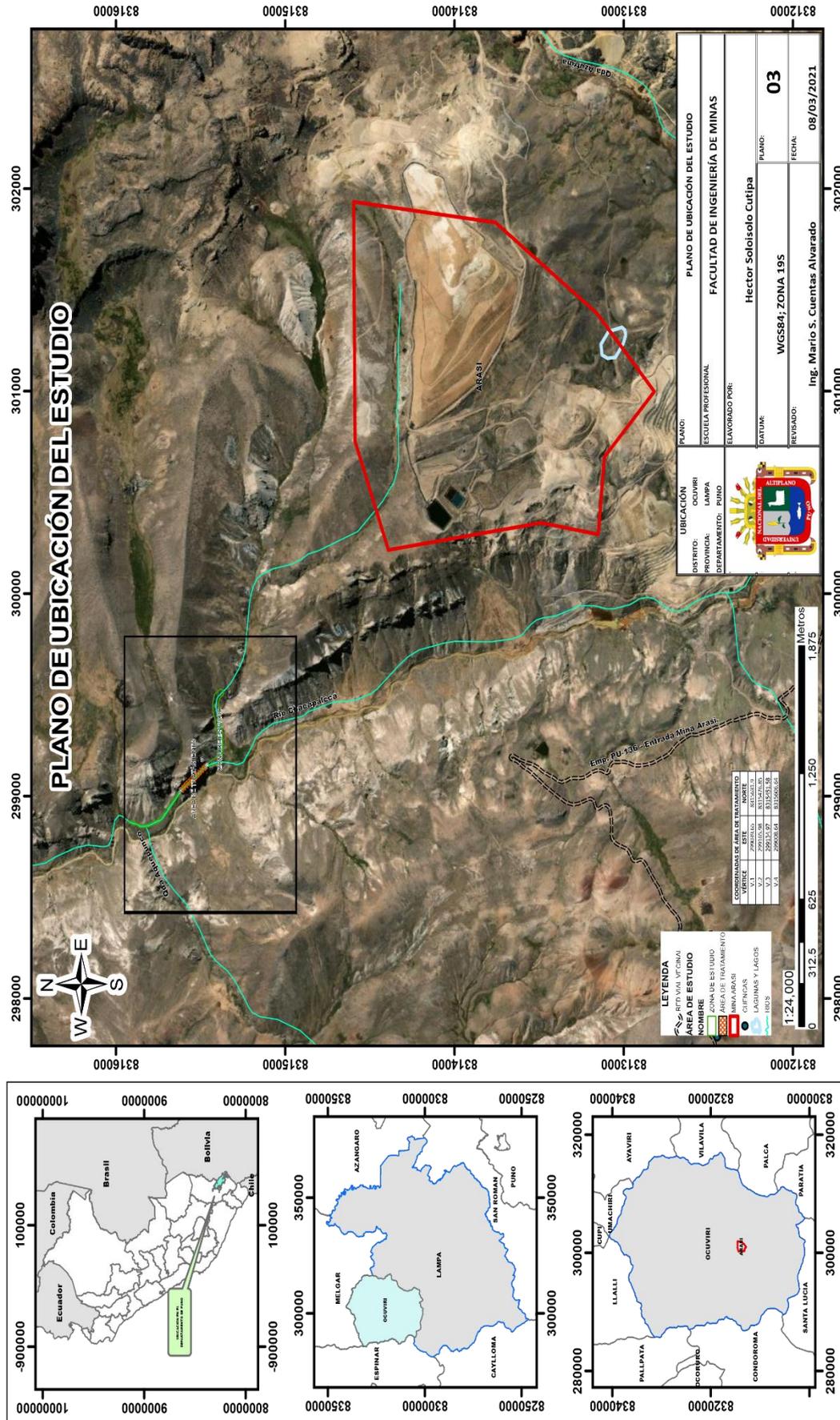


Anexo 4: Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicos.

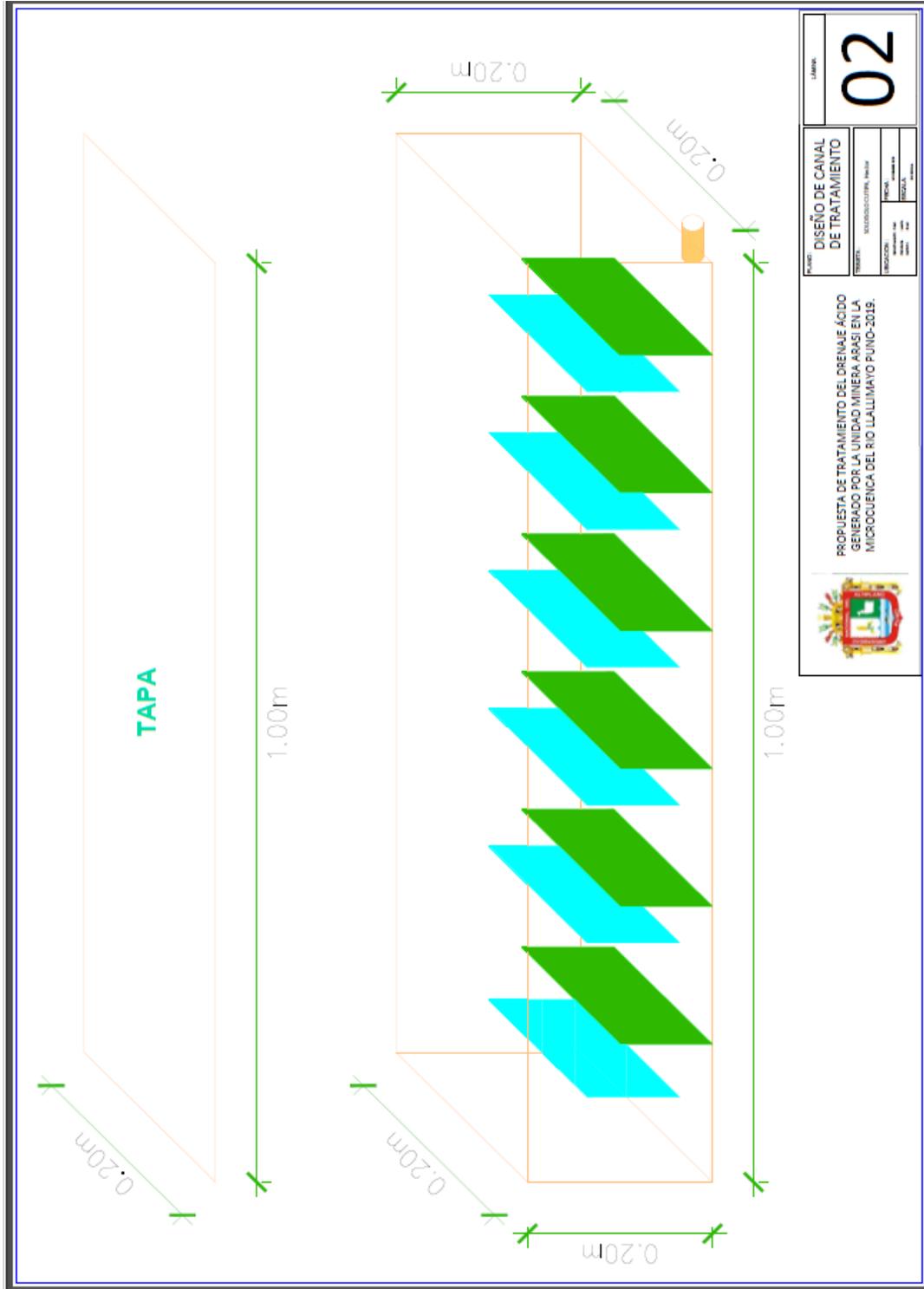
Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero Metalúrgicas				
Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio	
				anual
pH		6 - 9		6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50		25
Aceites y Grasas	mg/L	20		16
Cianuro Total	mg/L	1		0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1		0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05		0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1		0,08
Cobre Total	mg/L	0,5		0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2		1,6
Plomo Total	mg/L	0,2		0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002		0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5		1,2

Fuente: DS N° 010-2010-MINAM

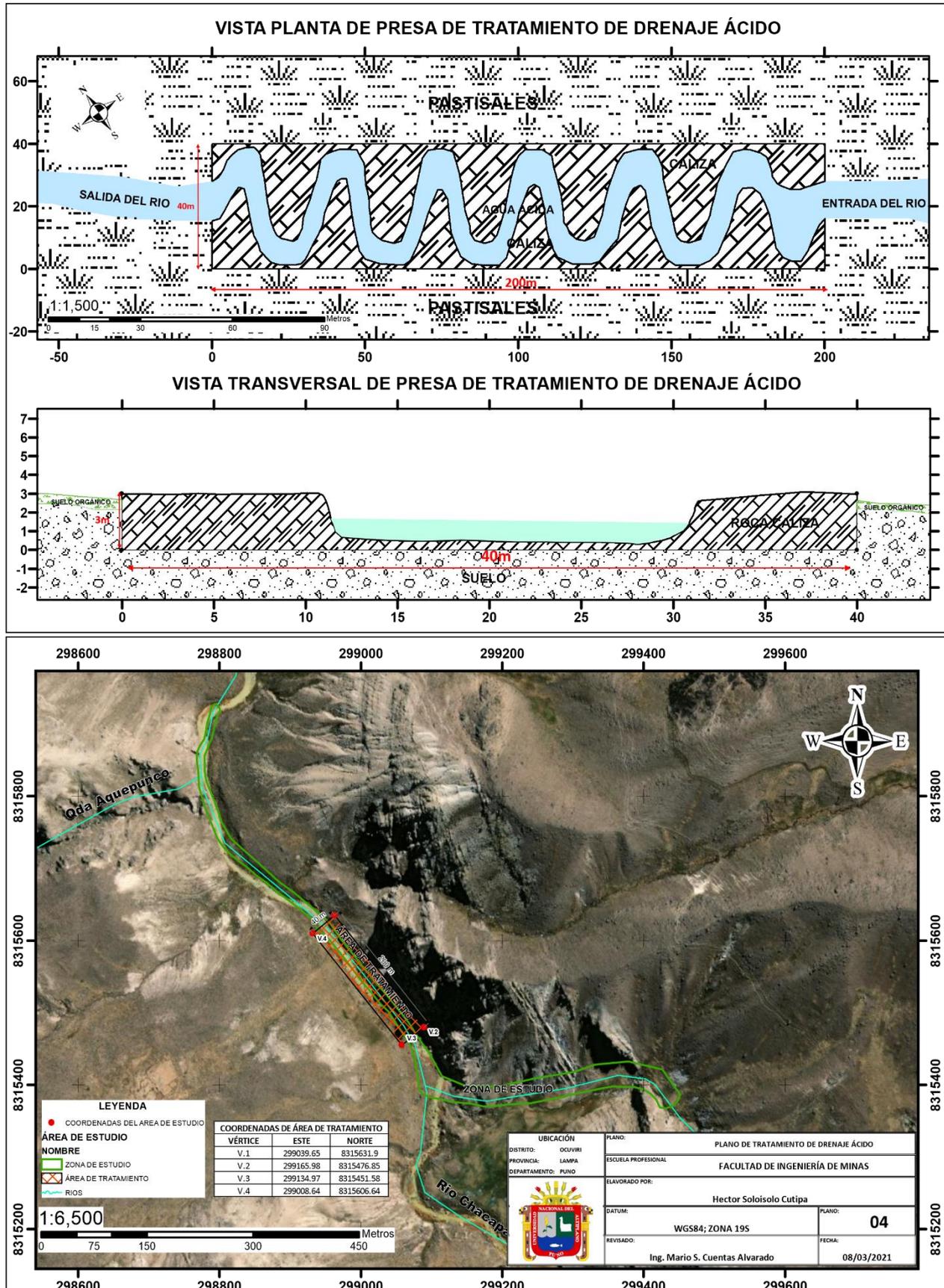
Anexo 5: Plano de ubicación de estudio.



Anexo 6: Diseño de canal de tratamiento.



Anexo 8: Vista planta presa y transversal de tratamiento del Drenaje Acido Mina.





Anexo 9: Informe de ensayo LAS.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-20-00283

Fecha de emisión: 11/12/2020

Página 1 de 3

Clave generada : 9E20A7E9

Señores : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO
Dirección : AV. EL SOL NRO. 329 BARRIO BELLAVISTA PUNO - PUNO - PUNO
Atención : HECTOR SOLOISOLO CUTIPA
Proyecto : TESIS: PROPUESTA DE TRATAMIENTO DEL DRENAJE ÁCIDO GENERADO POR LA UNIDAD MINERA ARABÍ EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
LLALLIMAYO PUNO.

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : HECTOR SOLOISOLO CUTIPA
Registro de muestreo : 193-58
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 7/12/2020
Fecha de ensayo : 7/12/2020
Número de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb. AMH/Dpto/Prov/Depart.	(e) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG20000049	MUESTRA INICIAL	Agua Natural - Superficial - Agua de Río	RIO CHACA BALCA / OCUYURI / LAMPA / PUNO	S 1510965 W 07052063	6/12/2020	11:10

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza directa ni legalmente por esta información.

Condiciones de recepción de la muestra

Cooler refrigerado

Observación

-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
César A. Juárez Soto
Calle 28 de Febrero N° 1542B

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAC o ILAC"

[*] Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">"Límite de detección del método. "<Valor Numérico">"Límite de cuantificación del método"

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier errata o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdesur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa Perú (054)43394 - (354)





Anexo 10: Informe de ensayo LAS.



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-20-00283

Fecha de emisión: 11/12/2020

Página 2 de 3

Clave generada : 9E20A7E9

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*807		*841	796	800	802									
		C E	T	O2	As	Hg	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG20000649	MUESTRA INICIAL	0,958	19,8	6,5	0,2341	b<0,00041	b<0,0024	6,16	1,557	0,07354	0,000885	59,1	0,00950	0,091879	0,00806	

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802													
		Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	SiO2
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG20000649	MUESTRA INICIAL	1,535	13,2	12,7	0,45277	10,99	0,86201	0,00078	105	0,08499	b<0,0054	0,0058	b<0,00049	0,0096	10,88

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802						808	
		Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn	pH	T
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Unidad de pH	°C
AG20000649	MUESTRA INICIAL	0,00250	0,9360	0,01420	0,0020	0,00428	0,3638	5,38	19,9

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico"=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Anexo 11: Informe de ensayo LAS.



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-20-00283

Fecha de emisión: 11/12/2020

Página 2 de 3

Clave generada : 9E20A7E9

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*807		*841	796	800	802									
		C	E	T	O2	As	Hg	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG20000649	MUESTRA INICIAL	0,958	19,8	6,5	0,2341	<0,00041	<0,0024	6,16	1,557	0,07354	0,000885	59,1	0,00950	0,091879	0,00806	

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802													SiO2
		Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG20000649	MUESTRA INICIAL	1,535	13,2	12,7	0,45277	10,99	0,86201	0,00078	105	0,08499	<0,0054	0,0058	<0,00049	0,0096	10,86

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802						808		
		Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn	pH	T	
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Unidad de pH	°C	
AG20000649	MUESTRA INICIAL	0,00250	0,9360	0,01420	0,0020	0,00428	0,3638	5,38	19,9	


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Anexo 12: Informe de ensayo LAS.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-20-00284

Fecha de emisión: 11/12/2020

Página 2 de 3

Clave generada : 44324A

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*807		*841	796	800	802									
		C	E	T	O2	As	Hg	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG20000650	MUESTRA FINAL	0,990	19,5	7,1	0,1014	b<0,00041	b<0,0024	3,87	0,7759	0,06960	0,000463	102	0,00292	0,025446	0,00932	

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802													
		Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	SiO2
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG20000650	MUESTRA FINAL	0,7764	5,55	5,38	0,16574	11,38	0,29530	0,00079	74,0	0,02827	b<0,0054	b<0,0026	b<0,00049	0,0068	8,727

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802						808		
		Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn	pH	T	
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Unidad de pH	°C	
AG20000650	MUESTRA FINAL	0,00510	1,620	0,00804	b<0,0013	0,00449	0,1467	8,24	19,6	


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(") Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía Web



Anexo 13: Informe de ensayo LAS



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-20-00284

Fecha de emisión: 11/12/2020

Página 3 de 3

Clave generada : 443244

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
*807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[- 50] mS/cm
*841	Oxígeno Disuelto en agua: SMEWW. 22 st Ed. Part. 4500-O C. Azide Modification	[^a 0.18 - 20] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[^b 0.0012 - 50] mg/L
800	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Mercurio (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[^b 0.00041 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SMEWW. 22 th Ed. 4500-H pH Part.B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 14] Unidad de pH

^a : Límite de detección

^b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)444582.





Figura 25: Rio Chacapalca – Ocuvi



Figura 26: recojo de muestras rio chacalpa-Ocuvi



Figura 27: Rio hatun Ayllu – Ocuvi



Figura 28: Unión del rio ocuviri y rio hatun ayllu - Ocuvi



Figura 29: Unión del río ocuviri y río hatun ayllu - ocuviri



Figura 30: Roca caliza –Ocuviri